

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

MEJORAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SPOOLS EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA USANDO LA MANUFACTURA ESBELTA

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

Frank Pablo Córdova Rojas

ASESOR: Ing. Jorge Vargas Florez

Lima, 03 de febrero del 2012

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, desarrollado en siete capítulos, tiene como objetivo principal el diseño de un modelo de aplicación de herramientas de manufactura esbelta para el sistema de fabricación de spools de una empresa metalmecánica, además de demostrar la factibilidad económica de su implementación.

El primer capítulo presenta la descripción de los conceptos y teorías que engloba la manufactura esbelta, asimismo se expone una visión global de lo que ofrece cada herramienta para la mejora de procesos.

El segundo capítulo muestra la descripción general de la empresa, su aspecto organizacional, el modelo de negocio que posee, así como la revisión de las diferentes áreas que conforman la planta de producción y las que intervienen en el proceso de producción de los spools. También se presenta de manera detallada el producto objeto del estudio, el spool.

A lo largo del tercer capítulo, se cuantifica el rendimiento actual del proceso de fabricación de spools. Además, se identifica y prioriza los defectos más relevantes del proceso. Adicionalmente, se obtiene la relación entre los defectos y las áreas del proceso, identificando todas las causas de los mismos.

El análisis de las herramientas de manufactura esbelta, contemplado en el cuarto capítulo, determina la asignación de cada herramienta a los defectos detectados para su solución. En base a esto, se da mayor énfasis a los defectos detectados como prioritarios.

Por otro lado, el capítulo quinto explica el papel fundamental que juega la cultura organizacional de una empresa en la implementación de la manufactura esbelta. Adicional a esto, se muestra las características más importantes de la cultura organizacional actual de la empresa metalmecánica en estudio.

En el sexto capítulo, se plantea un modelo de aplicación del lean manufacturing acorde a los procesos desarrollados para la fabricación de spools. Asimismo, se presenta los cambios necesarios a realizarse, a través de etapas de implementación de cada herramienta para lograr la mejora del resultado final.

Finalmente, en el último capítulo, referido a la evaluación financiera de la propuesta, se estiman los montos correspondientes a la inversión del proyecto, así como los ingresos, costos y gastos calculados para todo el tiempo de vida del mismo. Se expone cuatro escenarios de implementación de las herramientas, referidos básicamente a capacitación y capital de trabajo. Con los anteriores parámetros ya definidos, se procede a estructurar los estados financieros y a evaluar el desempeño financiero del proyecto, realizando un análisis de sensibilidad para verificar la viabilidad del proyecto.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	2
ÍNDICE DE ANEXOS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
Capítulo 1: Marco teórico.....	8
1.1. Manufactura esbelta.....	8
1.2. Pensamiento esbelto.....	8
1.3. Beneficios.....	9
1.4. Herramientas utilizadas dentro de la manufactura esbelta.....	9
1.4.1. Las 5's.....	9
a) Definición.....	9
b) Objetivos.....	12
c) Beneficios.....	12
1.4.2. Kanban.....	12
a) Definición.....	12
b) Objetivos.....	13
c) Regla Kanban.....	13
d) Beneficios.....	13
e) Implementación.....	13
1.4.3. Justo a tiempo.....	14
a) Definición.....	14
b) Objetivos.....	14
c) Elementos de la filosofía Justo a Tiempo.....	14
d) Beneficios.....	15
1.4.4. Jidoka	16
a) Definición.....	16
b) Objetivos.....	16
c) Características.....	16
d) Beneficios.....	16
1.4.5. Andon.....	17
a) Definición.....	17
b) Objetivos.....	17
c) Características.....	17
d) Beneficios.....	17

1.4.6. Poka yoke.....	18
a) Definición.....	18
b) Objetivos.....	18
c) Métodos Poka Yoke.....	18
d) Comparación en aplicación de dispositivos contra errores.....	18
e) Características.....	19
f) Beneficios.....	19
Capítulo 2. Descripción de la organización.....	20
2.1. La Organización.....	20
2.2. Sector y actividad económica.....	20
2.3. Perfil empresarial y principios organizacionales	20
2.4. Entidades participantes en el modelo del negocio.....	20
2.5. Secciones de producción de la empresa.....	22
2.5.1. Sección habilitado.....	22
2.5.2. Sección calderería.....	22
2.5.3. Sección mecánica.....	23
2.5.4. Sección soldadura.....	23
2.5.5. Sección ensamble.....	23
2.5.6. Sección pintura.....	23
2.6. El producto.....	23
2.7. El proceso productivo.....	24
2.7.1. Primera etapa.....	25
2.7.2. Segunda etapa.....	25
2.7.3. Tercera etapa.....	28
Capítulo 3. Análisis y diagnóstico actual.....	29
3.1. Identificación y definición de defectos.....	29
3.2. Puntos críticos del proceso relacionados con defectos detectados.....	30
3.3. Criterios de priorización.....	32
3.4. Priorización de defectos encontrados.....	32
3.5. Costo de los defectos seleccionados.....	34
3.6. Identificación de causas de los defectos prioritarios.....	35
Capítulo 4. Herramientas de manufactura esbelta.....	37
4.1. Asignación de herramientas a utilizar.....	37
4.2. Evaluación de los defectos desde el punto de vista de las herramientas de manufactura esbelta.....	38

4.3. Herramientas de manufactura esbelta aplicables a los defectos identificados.....	39
4.1. Herramientas de manufactura esbelta aplicables a los defectos definidos como prioritarios.....	40
Capítulo 5. La cultura organizacional en un sistema manufactura esbelta.....	42
5.1. El papel de la cultura organizacional en la filosofía de manufactura esbelta.....	42
5.2. Características de la cultura organizacional de la empresa metalmecánica.....	42
Capítulo 6. Modelo de aplicación de la manufactura esbelta.....	44
6.1. Adaptación de herramientas de manufactura esbelta a las necesidades encontradas para la fabricación de spools.....	44
6.1.1. Fundamento de las herramientas.....	44
6.1.2. Etapas a seguir para la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta.....	44
6.1.2.1. 5's.....	45
6.1.2.1.1. Secuencia de Implementación de las 5S.....	45
6.1.2.1.2. Impacto de 5S sobre los defectos.....	50
6.1.2.2. Kanban.....	51
6.1.2.2.1. Implementación de Kanban en cuatro fases.....	51
6.1.2.2.2. Impacto de kanban sobre los defectos.....	59
6.1.2.3. Justo a tiempo.....	59
6.1.2.3.1. Implementación de Justo a Tiempo.....	59
6.1.2.3.2. Impacto de justo a tiempo sobre los defectos.....	64
6.1.2.4. Jidoka.....	67
6.1.2.4.1. Implementación de Jidoka.....	67
6.1.2.4.2. Impacto de Jidoka sobre los defectos.....	71
6.1.2.5. Poka Yoke.....	72
6.1.2.5.1. Implementación de Poka Yoke.....	72
6.1.2.5.2. Impacto de Poka Yoke sobre los defectos.....	76
6.1.2.6. Andon.....	76
6.1.2.6.1. Implementación de Andón.....	76
6.1.2.6.2. Impacto de Andón sobre los defectos.....	82
6.2. Impacto de las herramientas de manufactura esbelta en los defectos identificados	82
Capítulo 7. Evaluación financiera del proyecto.....	85

7.1. Teniendo en cuenta defectos definidos como prioritarios y que se reducen con capacitación.....	85
7.1.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos prioritarios a solucionar con capacitación.....	86
7.1.2. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta únicamente los defectos prioritarios a reducir con capacitación.....	88
7.1.3. Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta defectos prioritarios.....	89
7.2. Teniendo en cuenta todos los defectos prioritarios.....	91
7.2.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos prioritarios.....	91
7.2.2. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta únicamente los defectos prioritarios.....	93
7.2.3. Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta defectos prioritarios.....	94
7.3. Teniendo en cuenta todos los defectos definidos y que se reducen con capacitación.....	96
7.3.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos a solucionar con capacitación.....	96
7.3.2. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta únicamente los defectos a reducir con capacitación.....	98
7.3.3. Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta defectos seleccionados a solucionar mediante capacitación.....	99
7.4. Teniendo en cuenta todos los defectos detectados.....	100
7.4.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos detectados.....	100
7.4.2. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta todos los defectos.....	102
7.4.3. Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta la reducción de todos los defectos.....	102
Capítulo 8. Conclusiones.....	105
Capítulo 9. Recomendaciones.....	107
Referencias Bibliográficas.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Filosofía JIT
- Figura 2. Biseladora de tubos hasta 6" de diámetro
- Figura 3. Juntas tubo + bridas
- Figura 4. Armado de spools
- Figura 5. Pareto de defectos en el proceso de producción
- Figura 6. Estante diseñado para el almacenamiento de herramientas
- Figura 7. Puesto de trabajo corte de tubos por oxicorte
- Figura 8. Áreas delimitadas en el puesto de armado de spools
- Figura 9. Flujos de información y material utilizando kanban
- Figura 10. Kanban de Producción o P Kanban
- Figura 11. Kanban de Material o T kanban
- Figura 12. Simulación Kanban para la producción del spool (tubo+brida)
- Figura 13. Puestos delimitados en soldadura(pase raíz-acabado)
- Figura 14. Comparación del almacenamiento de spools con pase de raíz
- Figura 15. Medidor de temperatura laser para operación de soldadura
- Figura 16. Dispositivo Andon
- Figura 17. Gráfico de tiempos de respuesta frente a situaciones anormales del proceso habilitado
- Figura 18. Gráfico de tiempos de respuesta frente a situaciones anormales del proceso armado
- Figura 19. Diagrama de flujo de fondos (tienen en cuenta solo defectos prioritarios a reducir con 5s y kanban)
- Figura 20. Diagrama de flujo de fondos (tienen en cuenta todos los defectos prioritarios)
- Figura 21. Diagrama de Flujo de Fondos (tiene en cuenta todos los defectos detectados a reducir con 5s y kanban)
- Figura 22. Diagrama de flujo de fondos (tienen en cuenta todos los defectos)

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tipos de Poka Yoke
Tabla 2.	Principales clientes de la empresa metalmecánica
Tabla 3.	Spools con fabricación de mayor frecuencia
Tabla 4.	Corte de tubos según máquina.
Tabla 5.	Tipo de soldadura a usar de acuerdo al diámetro de tubo (en pulgadas)
Tabla 6.	Defecto vs. Proceso de producción
Tabla 7.	Puntos críticos del proceso de producción
Tabla 8.	Criterios de Priorización para la Evaluación de Defectos Detectados
Tabla 9.	Puntos obtenidos por cada defecto en la priorización
Tabla 10.	Defectos Seleccionados como Prioritarios
Tabla 11.	Costos Adicionales Asociados a Defectos los Seleccionados
Tabla 12.	Principios de las herramientas de manufactura esbelta
Tabla 13.	Puntuación de herramientas a utilizar en los defectos detectados
Tabla 14.	Herramientas de Manufactura Esbelta Asignadas a los Defectos.
Tabla 15.	Herramientas a utilizar para solucionar cada uno de los defectos
Tabla 16.	Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de 5S
Tabla 17.	Clasificación de elementos del área de trabajo por colores
Tabla 18.	Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de kanban
Tabla 19.	Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de justo a tiempo
Tabla 20.	Esquema para análisis de valor agregado
Tabla 21.	Actividades que no agregan valor alternativas de mejora
Tabla 22.	Balanceo de cargas para determinar puestos de trabajo en soldadura
Tabla 23.	Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de jidoka
Tabla 24.	Tabla de tolerancias para procesos de corte, habilitado y pase de raíz
Tabla 25.	Áreas responsables del cumplimiento de las especificaciones
Tabla 26.	Comparación de defectos antes y después del estándar
Tabla 27.	Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de Poka Yoke
Tabla 28.	Esquema para registro y organización de propuestas de mecanismos Poka Yoke
Tabla 29.	Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de Andon
Tabla 30.	Esquema para clasificación de situaciones anormales
Tabla 31.	Código de colores para señales Andon
Tabla 32.	Esquema para clasificación de situaciones anormales – habilitado
Tabla 33.	Esquema para clasificación de situaciones anormales – armado

Tabla 34.	Representación del nivel de impacto de las herramientas en la solución de los defectos
Tabla 35.	Impacto de las herramientas de manufactura esbelta en los problemas seleccionados
Tabla 36.	Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de 5s y kanban
Tabla 37.	Producción adicional lograda por la reducción de defectos prioritarios con 5s y kanban
Tabla 38.	Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar 5s y kanban a defectos prioritarios
Tabla 39.	Plan de inversiones reduciendo defectos prioritarios con 5s y kanban
Tabla 40.	Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta solo defectos prioritarios a solucionar con 5s y kanban)
Tabla 41.	Resultado de técnicas financieras (defectos prioritarios a reducir con 5s y kanban)
Tabla 42.	Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de herramientas de manufactura esbelta
Tabla 43.	Producción adicional lograda por la reducción de defectos prioritarios
Tabla 44.	Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar herramientas de manufactura esbelta
Tabla 45.	Plan de inversiones reduciendo defectos prioritarios
Tabla 46.	Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta solo defectos prioritarios)
Tabla 47.	Resultado de técnicas financieras (defectos prioritarios a reducir con herramientas de manufactura esbelta)
Tabla 48.	Flujo de fondos recalculado según análisis de sensibilidad del porcentaje de defectos reducidos
Tabla 49.	Resultado de técnicas financieras ajustando la reducción de defectos a un 45.2%
Tabla 50.	Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de 5s y kanban en todo el sistema de producción de spools
Tabla 51.	Producción adicional lograda por la reducción de defectos detectados con 5s y kanban
Tabla 52.	Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar 5s y kanban a defectos detectados
Tabla 53.	Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta todos los defectos detectados a solucionar con 5s y kanban)

- Tabla 54. Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta todos los defectos detectados a solucionar con 5s y kanban)
- Tabla 55. Resultado de técnicas financieras (todos los defectos detectados a reducir con 5s y kanban)
- Tabla 56. Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de herramientas de manufactura esbelta
- Tabla 57. Producción adicional lograda por la reducción de todos los defectos
- Tabla 58. Materiales requeridos para suplir la producción adicional por reducción de todos los defectos detectados
- Tabla 59. Plan de inversiones reduciendo de todos los defectos un 55%
- Tabla 60. Flujo de fondos del proyecto (teniendo en cuenta todos los defectos)
- Tabla 61. Resultado de técnicas financieras teniendo en cuenta todos los defectos detectados
- Tabla 62. Flujo de fondos recalculado según análisis de sensibilidad del porcentaje de defectos totales reducidos 46.7%
- Tabla 63. Resultado de técnicas financieras ajustando la reducción de defectos totales a un 46,7 %

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Caracterización de los defectos encontrados.
- Anexo 2. Máquinas de la sección habilitado.
- Anexo 3. Máquinas de la sección calderería.
- Anexo 4. Máquinas de la sección mecánica.
- Anexo 5. Máquinas de la sección soldadura.
- Anexo 6. Máquinas de la sección pintura.
- Anexo 7. Diagrama de operación para fabricación de spools.
- Anexo 8. Mapa de procesos de la empresa.
- Anexo 9. Vista de planta del área de producción de spools.
- Anexo 10. Matriz de evaluación de puntos críticos del proceso de producción.
- Anexo 11. Descripción y calificación de los criterios de priorización para el ordenamiento de defectos detectados en los spools.
- Anexo 12. Matriz de priorización de defectos detectados.
- Anexo 13. Ahorros generados por defectos no prioritarios.
- Anexo 14. Diagramas causa – efecto para defectos seleccionados como prioritarios.
- Anexo 15. Clasificación detallada de las herramientas de manufactura esbelta.
- Anexo 16. Observaciones sobre las herramientas asignadas a la solución de cada defecto.
- Anexo 17. Etapas generales para la aplicación de las herramientas.
- Anexo 18. Las seis reglas de kanban.
- Anexo 19. Situación actual de los flujos de información y material.
- Anexo 20. Listado de tipos de kanban entre los procesos.
- Anexo 22. Matriz sugerida para evaluación de propuestas de mecanismos poka yoke.
- Anexo 23. Impacto de las herramientas de manufactura esbelta en los defectos detectados.
- Anexo 24. Costos y tiempos adicionales debidos a defectos prioritarios a reducir con 5'S y kanban.
- Anexo 25. Costos y tiempos adicionales debidos a defectos prioritarios.
- Anexo 26. Costos y tiempos adicionales debidos a todos los defectos a reducir con 5'S y kanban.

INTRODUCCIÓN

Durante el 2010, según fuentes del Fondo Monetario Internacional (FMI), la producción industrial, que incluye a la metalmecánica, creció en un 15 % en América Latina y se prevé un crecimiento positivo para el 2011. La industria metalmecánica es aquella industria que utiliza como principal recurso los materiales metálicos para fabricar especialmente estructuras, máquinas y herramientas que son necesarias para el funcionamiento de otras industrias, tales como la pesquera, petrolera, de gases, minera, entre otros. En nuestro país, como manifiesta la Sociedad Nacional de Industrias (SNI), la industria metalmecánica se encuentra en un proceso de desarrollo con expectativas de mayor participación en las exportaciones. Entre enero y agosto 2010, según estudios de la consultora Maximixe, los principales destinos de las exportaciones de la industria metalmecánica peruana fueron: Ecuador (19.3 por ciento de participación en las exportaciones), Estados Unidos (13.1 por ciento), Chile (13 por ciento), Venezuela (12.6 por ciento) y Colombia (11.4 por ciento). Dado este panorama muy alentador de la industria metalmecánica, las aplicaciones de alternativas de mejora, como el de la manufactura esbelta, en las empresas del sector sería bastante beneficioso tanto para ellas como para el sector en mención, ya que los procesos de fabricación de las piezas obtendrían mayor calidad en menor tiempo.

En la actualidad “los sistemas de calidad modernos de mayor auge (Seis Sigma y Manufactura Esbelta), tienen sus cimientos en el movimiento que se inició en la década de los 40’s”¹ y que se denominó Administración por Calidad Total (de las siglas en inglés TQM = Total Quality Management). “La Manufactura Esbelta nació con el Sistema de Producción Toyota que promueve los procesos de manufactura estrictos y eficientes, manteniendo el respeto al trabajador. El pensamiento esbelto, es la parte fundamental en el proceso de implementación de una manufactura esbelta, que está enfocada principalmente al personal, implicando cambios radicales en la manera de trabajar, algo que por naturaleza causa desconfianza y temor. Lo que los japoneses se dieron cuenta y nos aportaron, es que más que una técnica se trata de un buen régimen de relaciones humanas”².

Una de las características de las industrias pasadas, como menciona Womack&Jones (1996), es el régimen autoritario, en el que únicamente el que podía aportar ideas, era el que tenía mayor rango, desperdiciándose así la creatividad del trabajador que era

¹ Fuente: Principios de manufactura esbelta, Curso desarrollado por NIST Manufacturing Extension Partnership and MEP center in Alabama, Georgia, Massachusetts, Michigan, Philadelphia & Tennessee

² Fuente: Niebel B. y Freivalds A. Sistema de producción Toyota. 2004. pp.163 & 164.

visto como un objeto. El concepto de Manufactura Esbelta implica la anulación de los mandos y su reemplazo por el liderazgo.

Por otro lado, los tres pilares fundamentales de la industria metalmecánica, para la SNI, son los materiales, la mano de obra y las maquinarias. Ahora bien, según Womack&Jones (1996), de la aplicación correcta de estas herramientas con la cooperación de todos los involucrados en un proceso definido, depende el éxito de la manufactura esbelta. Considerando lo dicho anteriormente, en la actualidad es necesario que las organizaciones y/o empresas metalmecánicas mejoren sus procesos o cuenten con algún sistema de mejora continua, pues “los competidores del sector metalmecánico cada vez son más fuertes y el mercado más exigente”³.

La presente tesis es un trabajo de investigación que tiene como objetivo mejorar la cadena producción de un producto metalmecánico muy usado en gasoductos, pesquerías, mineras, entre otros, llamado spool, a través de la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta. Para la realización del presente estudio se utilizó el proyecto spool AKER de la empresa metalmecánica en estudio, dicho proyecto contempla la producción de spools, para una empresa minera, por un año y medio aproximadamente. El trabajo de investigación desarrolla 7 puntos, los cuales se describen a continuación.

En el punto 1 se encuentra el marco teórico donde se presenta los diferentes conceptos referentes a las herramientas de la manufactura esbelta.

En el punto 2 se presenta una breve descripción de la empresa, el sector al cual pertenece, así como las secciones que lo conforman y el producto a analizar con su respectivo proceso productivo.

En el punto 3 se analiza la situación actual de la producción de spools y se determina los defectos y problemas de calidad que presenta.

En el punto 4 se designan las herramientas que cubrirán los defectos encontrados, también se verán las necesidades básicas en la fabricación de spools para aplicar las herramientas. En el punto 5 se propone un modelo de aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta en el sistema de producción de spools, además se hace un análisis del impacto que tendrán las herramientas en los defectos. En el punto 6, se presenta la evaluación financiera del proyecto.

En el punto 7, finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones a las que se llega de acuerdo a la investigación y aplicación realizada en la planta.

³ Fuente: IBERCAJA ZENTRUM (España)

1. Marco teórico

1.1. Manufactura esbelta

Manufactura esbelta, también conocida como manufactura flexible o lean manufacturing, “es una metodología que utiliza diversas herramientas para eliminar todas las operaciones o desperdicios que no generan o agregan valor al producto, servicio o procesos, implementando un sistema de mejora continua que mejora el valor de cada actividad así como los tiempos de ciclo del mismo”⁴, garantizando una mayor calidad en los productos o servicios que se entregan o fabrican. Con lo dicho anteriormente, se puede decir que cuando hablamos de manufactura esbelta nos estamos enfocando en:

- Lo que agrega y no agrega valor a un producto en el proceso de fabricación del mismo, desde el punto de vista del cliente. Ya que el cliente es el que pagará por el producto que ordenó.
- Las actividades de cada centro de trabajo del proceso de fabricación del producto, que son necesarias para crear un flujo de valor sin interrupciones, deterioros en el producto, esperas o desperdicios.
- El cumplimiento de los requerimientos del cliente en el tiempo justo.
- Buscar la mejora continua para cada centro de trabajo.

1.2. Pensamiento esbelto

La parte fundamental en la aplicación de la manufactura esbelta, es lo que respecta al modo de pensar del personal, según manifiesta Peter Drucker (2009), la forma de pensar muchas veces determina o implica cambios radicales en la manera de trabajar de los operarios, que por naturaleza se traduce en desconfianza y temor. Por ello, el pensamiento esbelto más que una técnica es un régimen de relaciones humanas, donde las ideas de cualquier operario deben ser tomado en cuenta, pues es común que cuando un operario tiene alguna idea, este no es lo suficientemente valorada por sus superiores. Entonces, lo que propone el pensamiento esbelto es afianzar un empoderamiento al operario, que le permita de una manera conjunta con sus compañeros directivos aplicar nuevos métodos que enriquezcan la forma de trabajar. Por otro lado, dentro del pensamiento esbelto surge un concepto fundamental que hace referencia a aquellos elementos que resultan innecesarios para el desarrollo del

⁴ Fuente: Manufactura Esbelta. www.lean-6sigma.com

producto final. Este concepto es llamado “Muda”, que se define como cualquier gasto que no ayuda a producir valor. Existen “ocho clases de muda: sobreproducción, desperdicio, transporte, procesamiento, inventario, movimiento, repeticiones y la utilización deficiente del personal.”⁵. En conclusión, las mudas son elementos que no aportan al producto lo que el cliente considera como valor.

1.3. Beneficios

Los beneficios de la manufactura esbelta para toda empresa que la implemente en sus procesos de producción son los siguientes:

- Reducción de los costos de producción.
- Reducción de inventarios, si es que lo hubiera.
- Reducción del tiempo de entrega al cliente.
- Mejor calidad en el producto.
- Menos mano de obra utilizada.
- Mayor eficiencia de los equipos utilizados.
- Disminución de los ocho tipos de muda o desperdicio que existen.

1.4. Herramientas utilizadas dentro de la manufactura esbelta

Las herramientas de manufactura esbelta utilizadas con el fin de reducir las mudas, son las siguientes:

1.4.1. Las 5'S

Es una técnica que hace referencia a la “creación y mantenimiento de centros de trabajo más limpias, organizadas y seguras”⁶. La importancia que tiene el orden y la limpieza en cualquier centro de trabajo es necesaria, ya que un centro de trabajo ordenado, limpio, seguro, eficiente y agradable brinda:

- Menos accidentes.
- Mayor eficiencia.
- Reducción de tiempos de búsqueda.
- Menor contaminación.
- Mejor control visual del área de trabajo.

a) Definición

Las 5S provienen de términos japoneses⁷, las cuales son:

⁵ Fuente: Womack&Jones. Lean thinking (1996)

⁶ Fuente: Metodología 5'S. www.kaizen-institute.com

⁷ Fuente: www.edutecne.utn.edu.ar/5s/5s_cap1.pdf

a.1) Seiri (Organizar). Se basa en la acción de retirar todos aquellos elementos que no son necesarios para la realización de la tarea correspondiente. Esta primera “s” crea una liberación de espacio y permite eliminar la mentalidad de “por si acaso”. Organizar implica:

- Separar en el lugar de trabajo las cosas realmente necesarias de las innecesarias, eliminando lo excesivo.
- Organizar las herramientas en lugares donde los cambios se puedan realizar en el menor tiempo posible.
- Eliminar aquellos elementos que afecten el funcionamiento normal de los equipos o que puedan generar averías.

Los principales beneficios de implementar la primera S se traduce en:

- Liberar espacio útil en plantas y oficinas
- Reducir tiempos de acceso a los materiales, documentos y herramientas.
- Mejorar el control visual de inventarios, elementos de producción y planos.
- Eliminar las pérdidas de productos o elementos que se deterioran a causa de largos periodos de almacenamientos en lugares inadecuados.

a.2) Seiton (Ordenar). Consiste en organizar los elementos clasificados como necesarios de tal forma que se puedan ser ubicados con facilidad. Este ordenamiento permite:

- Disponer de un lugar adecuado para las herramientas y/o accesorios que son de mayor utilización en el centro de trabajo.
- Disponer de sitios identificados para ubicar elementos con baja frecuencia.
- Facilitar la identificación visual de los equipos, alarmas y el sentido de giro de los mismos.
- Identificar y marcar sistemas auxiliares del proceso como tuberías, aire comprimido, etc.

Respecto a los beneficios obtenidos se puede mencionar:

- Un rápido acceso a elementos requeridos en el trabajo, liberando espacios.
- Mejora la información del lugar de trabajo evitando errores y acciones de riesgo potencial.
- Aumenta la seguridad al facilitar la demarcación de los diferentes lugares de la planta.

a.3) Seiso (Limpieza). Básicamente consiste en eliminar polvo y suciedad de las diferentes áreas del centro de trabajo, incluyendo cualquier aplicación que ayude a evitar o disminuir la propagación de suciedad en el mismo. Para ejecutar la limpieza es necesario:

- Tomar la limpieza como una actividad del quehacer diaria en el mantenimiento autónomo.
- No tomar en cuenta las diferenciaciones entre el operario de limpieza, del proceso y el técnico de mantenimiento
- La inspección continua con lo que se eleva el nivel de conocimientos de los equipos
- Buscar las fuentes de contaminación para no limitarse a eliminar lo que solo vemos.

Los beneficios obtenidos al aplicar la limpieza son:

- La disminución de los riesgos potenciales de accidentes
- Mejorar el bienestar físico y mental del trabajador.
- La incrementación de la vida útil del equipo, así como la identificación rápida de los posibles daños que tenga.
- Un mejoramiento en la calidad de los productos, evitando la suciedad y contaminación.

a.4) Seiketsu (Estandarizar). Consiste en el mantenimiento de la limpieza y organización alcanzada antes con la aplicación de las primeras 3's. Con la estandarización se busca:

- Mantener el estado alcanzado con las primeras 3s.
- Enseñar al trabajador a elaborar normas con un entrenamiento adecuado.
- Generar un modelo de la forma en que se debe mantener el equipo y la zona de trabajo.

Los beneficios que se alcanzan al aplicar esta "s" son los siguientes:

- Permite mantener el conocimiento producido durante años de trabajo.
- Mejora el bienestar del personal al crear hábitos de limpieza permanentes.
- Los operarios aprenden a conocer con mayor detenimiento los equipos.
- Se prepara al personal para asumir mayores responsabilidades.
- Aumentar la productividad de la planta al disminuir los tiempos de procesos.

a.5) Shitsuke (Disciplina). Esta "s" consiste en evitar quebrantar los procedimientos ya establecidos anteriormente. La disciplina viene a ser el nexo entre las 5's y el mejoramiento continuo⁸. La disciplina implica:

- Respeto a las normas y estándares definidos para la conservación del lugar de trabajo, así como las que regulan el funcionamiento de la organización.

⁸ Abell, D. (1994), da como concepto de Mejoramiento Continuo una extensión histórica de uno de los principios de la gerencia científica, establecida por Frederick Taylor, que afirma que todo método de trabajo es susceptible de ser mejorado

Los beneficios de la implantación de esta disciplina son:

- El crear una cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos de la empresa.
- Permite cambiar hábitos al aumentar el seguimiento de estándares.
- Aumentar los niveles de satisfacción de los clientes.

b) Objetivos

El objetivo central de las 5'S es lograr un funcionamiento más eficiente y uniforme de las personas en los respectivos centros de trabajo.

c) Beneficios

Implementar las 5'S puede generar efectos en diferentes áreas, algunos de los beneficios que generan⁹ son:

- Mayores niveles de seguridad
- Eliminar las actividades que no agregan valor
- Asegurar la eficiencia de la calidad
- Reducir los desperdicios
- Simplificar el ambiente de trabajo.

1.4.2. Kanban

a) Definición

Es una herramienta que ayuda a mejorar el flujo de materiales en una línea de ensamble. Usa una especie de “etiqueta de instrucción”, que sirve como orden de trabajo, informando acerca de lo que se va a producir, en qué cantidad, mediante que medios, y en que se transportará¹⁰. En esencia los Kanban solo podrán ser aplicados en fábricas que tengan producción repetitiva.

b) Objetivos

- Control de la producción: Se busca la integración de los diferentes procesos y el desarrollo de un sistema Just in Time (JIT), en la cual los materiales llegarán en el tiempo y en la cantidad requerida a cada etapa del proceso, si es posible incluyendo a los proveedores.

⁹ Fuente: Womack&Jones. Lean thinking (2003)

¹⁰ Fuente: Manufactura Esbelta. Recursos Kanban. www.lean-6sigma.com

- Mejoramiento de procesos: Se busca la facilitación en las diferentes actividades mediante el uso de Kanban y otras técnicas de ingeniería

c) Regla Kanban

Comprende seis puntos¹¹, los cuales son:

- 1) Evitar enviar un producto defectuoso a los procesos subsecuentes, ya que la continuación de un producto defectuoso en la producción implica costos innecesarios que no podrán ser recuperados en el futuro.
- 2) Los procesos subsecuentes requerirán sólo lo que es necesario. Esto significa que el proceso siguiente pedirá solo lo necesario del proceso anterior.
- 3) Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsiguiente. No producir más que el número de Kanban's y producir en la secuencia en la que los Kanban's son recibidos.
- 4) Balancear la producción para producir solamente la cantidad necesaria
- 5) Evitar la especulación a través del respeto y uso de la tarjeta kanban.
- 6) Estandarizar y racionalizar el proceso. El trabajo defectuoso existe si el trabajo no está estandarizado y racionalizado, por lo que deben tenerse en cuenta estos aspectos.

d) Beneficios

Esta herramienta de manufactura esbelta servirá para lo siguiente:

- Reducir los niveles de inventario, facilitando el control de materiales.
- Dar instrucciones basados en las condiciones actuales del área de trabajo.
- Prevenir que se agregue trabajo innecesario a aquellas órdenes ya empezadas y que se genere exceso de papeleo innecesario.
- Proveer información rápida y precisa.
- Priorizar la producción, con la priorización de las tarjetas kanban.

e) Implementación

Para Taiichi Onho, la implementación del Kanban implica el desarrollo de cuatro pasos fundamentales, estos son:

Fase 1: Entrenar a todo el personal en los principios y beneficios de usar Kanban. Este entrenamiento será continuo en las demás fases.

¹¹ Fuente : www.gerencie.com/Kanban

Fase 2: Implementar Kanban en aquellos componentes con mayor problema, para así facilitar su manufactura y resaltar los problemas escondidos.

Fase 3: Implementar Kanban en el resto de los componentes, esta fase no debe ser problema ya que para esto los operarios ya han sido informados sobre los beneficios que obtendrían al usar el kanban. Se deben tomar en cuenta todas las opiniones de los operadores pues son ellos los que mejor conocen el sistema donde trabajan.

Fase 4: La última fase consiste en la revisión del sistema kanban, los puntos de reorden y los niveles de reorden.

1.4.3. Justo a tiempo

a) Definición

Básicamente significa producir el mínimo de unidades posibles en el mínimo de cantidad posible y en el último momento posible¹².

b) Objetivos

El objetivo principal de esta filosofía es de eliminar cualquier tipo de muda en las actividades de compras, fabricación, distribución y de oficina, en cualquier negocio de manufactura, a fin de mejorar continuamente dichos procesos y la calidad del producto o servicio final correspondiente.

c) Elementos de la filosofía Justo a tiempo

Para lograr la eliminación de las mudas, según Hirano Hiroyuki, esta filosofía tiene tres elementos básicos:

- a) Calidad en la fuente: Que consiste en hacer las cosas bien la primera vez en todas las áreas de la organización.
- b) Flujo: es la manera como el proceso fabril avanza de una operación a otra, y está conformado por los siguientes elementos técnicos :
 - b.1) Carga fabril uniforme: Referido al equilibrio necesario para que haya flujo y por ende, rapidez en las operaciones, esto implica usar dos conceptos:
 - Tiempo de ciclo: que es ritmo de producción acorde a la demanda generada por el cliente.
 - Carga nivelada: La base de este principio es que los productos se deben de producir a la frecuencia que el cliente pida.

¹² Fuente : HIROYUKI, hirano Manual de implementación del Just In Time.1991

b.2) Operaciones coincidentes: La maquinaria debe de dedicarse total o parcialmente a una sola familia de productos. Para que una celda sea considerado JIT, debe cumplir dos características:

- El producto debe fluir uno cada vez de una máquina a otra.
- Tener flexibilidad para operar a distintos ritmos de producción y con cuadrillas de diferentes tamaños (tiempo de ciclo).

b.3) Compras JIT: Se busca una relación basada en la calidad, duradera y mutuamente benéfica con mejores proveedores pero en menor número. Esta relación tiene cuatro elementos básicos y complementarios: Largo plazo, mutuo beneficio, menos proveedores y mejores proveedores

b.4) Sistemas de jalar: Este sistema es una manera de conducir el proceso de producción de manera que cada operación, comenzando con los despachos y remontándose hasta el comienzo del proceso, va jalando el producto necesario de la operación anterior solamente a medida que lo necesite. A esta técnica se le ha llamado Kanban.

- c) Intervención de empleados: que consiste en crear una cultura de participación de los empleados partiendo del trabajo en equipo.

La mezcla de estos tres elementos básicos, son esenciales para un adecuado funcionamiento de la filosofía Just In Time, tal como se puede ver en la Figura 1. Filosofía JIT.

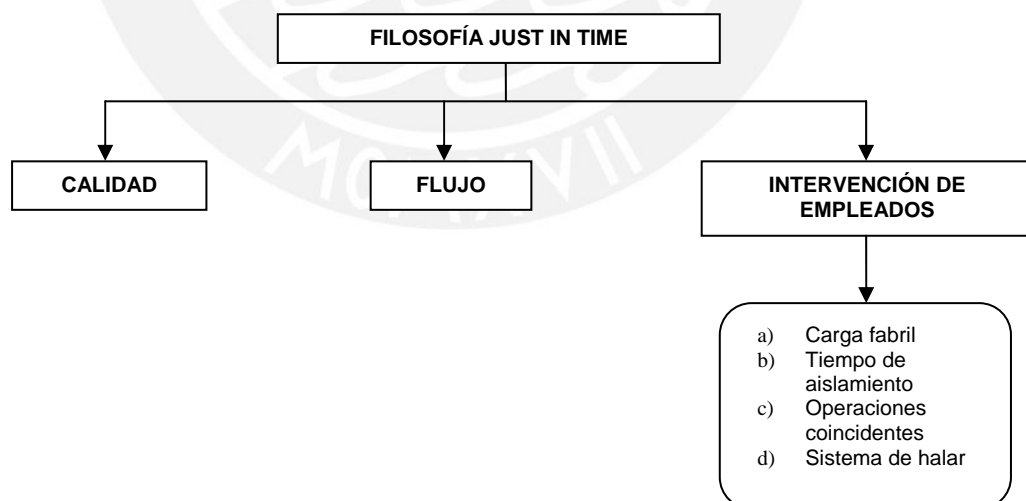


Figura 1. Filosofía JIT

Fuente: HAY J.Edwars. Justo a Tiempo.

d) Beneficios

Los beneficios que se obtienen al aplicar esta herramienta¹³ son:

- Aumenta la rotación del inventario.

¹³ Fuente: Gutiérrez Garza, Gustavo. Justo a Tiempo y Calidad Total, 2000. pp.18

- Reduce las pérdidas de material, genera menos mudas.
- Mejora la productividad global, disminuyendo los costos financieros.
- Genera ahorros en los costos de producción, los racionaliza.
- Menor espacio de almacenamiento.
- Se evitan problemas de calidad, cuello de botella, entre otros.
- Toma de decisiones en el momento justo.

1.4.4. Jidoka

a) Definición

Conocida como automatización o verificador de procesos, “es un modelo aplicado a labores manuales y/o automatizadas (o mecánicas) que permite detectar y corregir defectos en la producción utilizando mecanismos y/o procedimientos”¹⁴, llegando al punto de detener una línea de producción o una máquina para evitar la elaboración de productos defectuosos.

b) Objetivos

El objetivo básico es el de verificar la calidad del producto en forma integrada al procesos de producción. Por lo tanto se destacan como aspectos fundamentales:

- Aseguramiento de la calidad el 100% del tiempo.
- Prevención de averías de equipos.
- Uso eficaz de la mano de obra.

c) Características

La herramienta Jidoka “realiza el control de defectos de manera autónoma”¹⁵, es efecto, “este sistema compara los parámetros del procesos de producción contra los estándares establecidos y hace la comparación, si los parámetros del proceso no corresponden a los estándares preestablecidos el proceso se detiene, alertando que existe una situación inestable, la cual debe ser corregida con el fin de evitar la producción masiva de productos defectuosos”¹⁶. Además, brinda al operador la posibilidad de realizar otras actividades mientras la máquina continua trabajando.

¹⁴ Fuente: JIT. www.toyota-global.com

¹⁵ Fuente: JIT. www.kaizen-institute.com

¹⁶ Fuente: Jidoka. www.kaizen-institute.com

d) Beneficios

- Se inspeccionan el 100% de los productos lo que garantiza la calidad de sus componentes y del producto terminado como tal.
- Se reducen tiempos de fabricación debido a la integración de la inspección.
- Se reducen inventarios de seguridad y pueden disminuir también el número de inspectores de calidad.
- Aumenta la productividad.

1.4.5. Andon**a) Definición**

Andón es un término japonés que significa alarma, indicador visual o señal. Es una herramienta que muestra “un despliegue de luces o señales luminosas en un tablero que indican las condiciones de trabajo en el piso de producción del centro de trabajo, el color indica el tipo de problema o condiciones de trabajo. Andón significa ayuda”¹⁷.

b) Objetivos

El objetivo primordial es mostrar el estado del proceso de producción por medio de señales visuales y de audio.

c) Características

Esta herramienta puede consistir en una serie de lámparas o señales sonoras que cubren por completo la línea de trabajo del área de producción. Entonces, si se presenta una dificultad las diferentes señales del Andón alertarán al supervisor o encargado del área para corregir el respectivo problema inmediatamente.

Se utilizan los siguientes colores:

- **Rojo:** Máquina descompuesta
- **Azul:** Pieza defectuosa
- **Blanco:** Fin de lote de producción
- **Amarillo:** Esperando por cambio de modelo
- **Verde:** Falta de material
- **No luz:** Sistema operando normalmente.

d) Beneficios

¹⁷ Fuente : www.controlvisual.com/andon

- Aumenta la calidad en los productos de la línea de trabajo.
- Alerta al personal de las anomalías presentadas en el trabajo, generando menores tiempos de respuesta ante las dificultades.
- Indica claramente las condiciones en los diferentes puntos de la planta de producción.

1.4.6. Poke yoke

a) Definición

El término Poke Yoke deriva de las palabras japonesas “Poka” (error inadvertido) y “Yoke” (prevenir); lo que significa que es un dispositivo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y los corrija a tiempo¹⁸.

b) Objetivos

Eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presentan lo antes posible. Para esto, los sistemas Poka Yoke poseen dos funciones:

- Hacer la inspección del 100% de las partes producidas.
- Dar retroalimentación en la ocurrencia de anomalías y generar acciones correctivas.

c) Métodos Poka Yoke

Esta herramienta utiliza dos tipos de métodos:

c.1) Métodos de control

Corresponden a métodos que apagan las máquinas o bloquean los sistemas de operación al ocurrir anomalías para prevenir que se siga generando el mismo defecto. También se puede diseñar un mecanismo que asegure que la pieza defectuosa quede marcada para facilitar su localización y posterior corrección.

c.2) Métodos de advertencia

Este tipo de método advierte al trabajador de las anomalías ocurridas, llamando su atención, mediante la activación de una luz o sonido.

d) Comparación en aplicación de dispositivos contra errores

¹⁸ Fuente: Tecnológico de Monterrey. www.her.itesm.mx

Dentro de los dispositivos contra errores se puede encontrar los diferentes tipos¹⁹, como se muestra en la Tabla 1. Tipos de Poka Yoke.:

Tabla 1. Tipos de Poka Yoke

TIPO	FUENTE	COSTO	MANTENIMIENTO	CONFIABILIDAD
Físico / mecánico	Empleados	Bajo	Muy bajo	Muy alta
Electro / mecánico	Especialistas	Alto	Bajo	Alta
Electrónico	Poco Especialistas	Más alto	Bajo pero especializado	Alta

Fuente: www.her.itesm.mx

En la tabla mostrada, se puede observar que a medida que la aplicación se vuelva más tecnológica, el costo también se incrementa.

e) Características

- Son sistemas simples y baratos. (El uso de sistemas complicados y caros hace que su uso no sea rentable).
- Son parte del proceso lo que asegura y facilita realizar la inspección del 100% a los productos.
- Son ubicados en el lugar cerca del lugar donde ocurre el error para asegurar una retroalimentación rápida de los errores

f) Beneficios

- Se asegura la inspección del 100% de los productos elaborados.
- Disminuye la cantidad de defectos que se generan en la línea de producción.
- Genera advertencias y facilita la toma de medidas correctivas para problemas en la producción.

¹⁹ Fuente: Tecnológico de Monterrey. www.her.itesm.mx/pokayoke

2. Descripción de la organización

2.1. La organización

La empresa en donde se desarrolla el presente proyecto es una “empresa industrial metalmecánica que desde 1969, provee soluciones a actividades productivas a través de ingeniería, manufactura, logística, montaje en obra y puesta en marcha de sistemas y equipos”²⁰.

2.2. Sector y actividad comercial

El sector al cual pertenece la organización en estudio es la metalmecánica y el giro del negocio según la clasificación por código CIIU es 2919. La actividad comercial que desarrolla es el de fabricación de diferentes tipos de maquinaria de uso general.

2.3. Perfil empresarial y principios organizacionales

La organización posee los siguientes principios organizacionales:

- Visión: La visión de la empresa es ser una “organización comprometida con el progreso social, con presencia activa y liderazgo mundial y que convierte los sueños de sus clientes en realidad”.
- Misión: La empresa tiene como misión “producir y suministrar equipos mecánicos, componentes y servicios complementarios para diferentes sectores productivos, ofreciendo soluciones tecnológicas integrales y relaciones a largo plazo”.
- Política de calidad: La empresa metalmecánica tiene como política de calidad el “solucionar las necesidades de nuestros clientes, integrando diseño, manufactura, servicios logísticos y complementarios para el suministro de sistemas, fabricación de máquinas, equipos, componentes para diferentes sectores productivos, en forma profesional, segura, eficiente y oportuna, orientándonos siempre a la mejora continua. Nuestros productos y servicios están orientados al desarrollo de nuestros clientes, socios estratégicos, trabajadores y accionistas”²¹.

2.4. Entidades participantes en el modelo del negocio

²⁰ Fuente : www.fimaperu.com

²¹ Fuente : www.fimaperu.com

Podemos describir a las principales entidades participantes en el modelo del negocio como sigue:

- Clientes: La empresa metalmecánica tiene como clientes finales a empresas del sector Minero, Industrial y Construcción, a quienes brinda ingeniería conceptual, básica y de detalle para procesos y diseño de equipos, los principales clientes se mencionan en la Tabla 2. Principales clientes de la empresa metalmecánica.

Tabla 2. Principales clientes de la empresa metalmecánica

CLIENTES	
SSK Montajes e instalaciones	Foster wheeler
Metso Minerals	Southern Perú copper corp
CFG Investment SAC	Posco e&c
G Y M - Bayovar	Sew del Perú
Empresa Siderúrgica Perú	Minera yanacocha
Petroperu	Cerro verde
Esmetal	Pesquera centinela
Minera barrick	Interbank del peru -exalmar
Barr rosin	Pesquera pacífico centro
JJC El brocal	Pesquera cantabria sa
Minera santa cruz	Pesquera caral

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

- Proveedores: La mayor parte de los proveedores son empresas comercializadoras, quienes importan la materia prima de China, Brasil, Rusia, EEUU, Malasia, Japón, entre otros. Cerca del 15% de los materiales que llegan son de importación directa. Así mismo, se cuenta con empresas tercerizadoras quienes hacen el servicios de ensayos, recubrimiento de material, vulcanizados, entre otros.
- Socios del negocio: Actualmente, la empresa metalmecánica. trabaja con empresas de ingeniería tales como Bechtel, Kilborn, Simons, SNC, Lavalin, Fluor Daniel, Hatch, Parsons y traders japonesas tales como Nissho Iwai, Mitsui, Hitachi, entre otros.

Del mismo modo, la empresa ofrece servicios de sub-contratación a empresas norteamericanas y europeas.

- Trabajadores: Se hace mención de la fuerza laboral de la empresa metalmecánica como “pieza clave” de la organización. Se cuenta con profesionales capaces de llevar una buena gestión y control en la parte administrativa, al igual que se cuenta con personal altamente calificado en lo que respecta a la ejecución de operaciones, los cuales, en conjunto, hacen de la empresa un líder en su sector.

- Entidades del estado: La empresa metalmecánica está relacionada con las siguientes entidades del estado:
 - El Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), es quien les presta servicio de calibración a sus equipos e instrumentos.
 - El Ministerio de Trabajo y Promoción del empleo, el cual regula las leyes laborales, las cuales la empresa tiene que cumplir.
- Instituciones: La empresa metalmecánica en estudio está afiliada a la Sociedad Nacional de Industrias (SIN) quien promueve el desarrollo y protección de las empresas manufactures del país.
- Competencias: Las principales competencias de la empresa son las industrias metalmecánicas del mercado, teniendo como principales competidores a: Haugh, Imecon, Técnicas Metálicas, Fiansa, entre otros.

2.5. Secciones de producción de la empresa

La empresa cuenta con una planta de producción de 40,000 m² y está ubicado en el departamento de Lima, en la zona industrial de la ciudad de Carmen de la Legua en el Callao, allí se realizan todos los productos de la empresa. La distribución de la planta de producción es por procesos y consta de seis secciones, las cuales son: habilitado, calderería, mecanizado, soldadura, ensamble y pintura.

2.5.1. Sección habilitado

Esta es la primera sección en donde se realiza labores de corte preliminar para cualquier pieza inicial que conforma una estructura. Cuenta con máquinas especializadas en el corte de vigas, planchas, canales, espárragos, ángulos, tubos y barras entre macizas y perforadas (Ver Anexo 2. Máquinas de la sección habilitado).

2.5.2. Sección calderería

Esta sección es la encargada de realizar labores u operaciones de biselado y rolado, así como de armado de algunas piezas. Cuenta con algunas contratistas como Quipuzco, Fajardo y Nuñez que funcionan dentro de la planta y que trabajan conjuntamente con calderería FIMA para el desarrollo de los proyectos a entregar. Las máquinas de cuales dispone esta sección se pueden observar en el Anexo 3. Máquinas de la sección calderería).

2.5.3. Sección mecánica

Sección de la planta en donde se realizan operaciones de torneado, taladrado, fresado, mandrinado, cepillado, ranurado, etc. Los mecanizados de las diferentes piezas que forman una estructura final se realizan a través de máquinas especializadas (Ver Anexo 4. Máquinas de la sección Mecánica).

2.5.4. Sección soldadura

Sección equipada con maquinarias de soldadura que realizan los procesos de GMAW, GTAW, FCAW y SAW a las estructuras o piezas que lo requieran. (Ver Anexo 5. Máquinas de la sección Soldadura).

2.5.5. Sección ensamble

Esta sección está dedicada al ensamble de las piezas mecanizadas para formar otra que será un producto final o parte de un producto final.

2.5.6. Sección pintura

Sección encargada de obtener el producto final para el cliente, para ello se realiza labores de granallado y pintura (Ver Anexo 6. Máquinas de la sección Pintura).

2.6. El producto

El producto del proyecto es una pieza metálica llamada spool. Un spool o carrete es una pieza pre-montada de tubo unida a algún tipo de accesorio (bridas, codos, olets, slip on, etc). Los spools son “utilizados principalmente para el traslado de material líquido, sólido o gaseoso a gran escala en grandes plantas industriales que se sitúan en pesqueras, gasoductos y mineras”²². Para formar un ducto que pueda transportar algún tipo de material como relaves, gases u otro tipo, desde el punto de explotación hasta los puntos de descarga, los spools son soldados uno tras uno considerando la dificultad del terreno donde serán instalados, el flujo necesario a lo largo del ducto, así como la longitud del mismo. Para iniciar la fabricación de los spool, se realizan planos que contienen las dimensiones de los spools, la colada, el material y la posición que ocupará en el ducto final. Por otro lado, para la empresa metalmecánica, la producción de esta pieza representa en promedio el 60% de su carga de trabajo total, es por ello que se escogió al spool para desarrollar el presente proyecto. Las medidas²³ de los

²² Fuente: Información proporcionada por Fima S.A.

²³ Se entiende por medidas el largo del spool y el diámetro que posee.

spools son variables, la Tabla 3. Spools con fabricación de mayor frecuencia, muestra los spools más frecuentes en lo que se refiere a producción, en general todas siguen el mismo proceso de fabricación.

Todos los componentes de los spools se encuentran normalizados bajo la norma ANSI (American National Standards Institute), ASME (American Society of Mechanical Engineers) y ASTM (American standards and testing materials). Por ello, los tubos y accesorios cumplen y manejan nomenclaturas dadas por las normas mencionadas, así tenemos:

- Tubos : Norma ASTM A 53 (NTC-3470)
- Bridas : Normas ANSI b 16.47 y Normas ANSI Ø 1/2" a 24", estándar y especiales de Ø 26" a 36"
- Codos : Norma ASME B 16.9

Tabla 3. Spools con fabricación de mayor frecuencia

UNIONES	SCHEDULE	DIÁMETRO	LONGITUD PIEZA UNIDA (mm)	FIGURA
TUBO - CODO	10S, STD, 40S, 60, 80	2" - 60"	200 - 10000	
TUBO - BRIDA	10S, STD, 40S, 60, 80	2" - 60"	200 - 10000	
TUBO - TUBO	10S, STD, 40S, 60, 80	2" - 60"	200 - 10000	

Fuente: Elaboración propia

2.7. El proceso productivo

La empresa metalmecánica cuenta con un área de 450 m² destinada especialmente para la producción de spools (Ver Anexo 9), en dicha área se realizan trabajos de calderería (armado de spools) y de soldadura (soldado de spools). Para la empresa el servicio, así como la entrega y la calidad de los spools son fundamentales, por ello los

spools fabricados deben tener las especificaciones y pruebas de calidad necesarias para ser entregado al cliente

El proceso de producción de spools está sujeta a los pedidos de los clientes. Es decir, para iniciar la producción de un spool se necesita primero ganar alguna licitación o recibir el pedido del cliente directamente. En ese sentido, se puede decir que el proceso de fabricación de un spool cualquiera, desde que el cliente realiza el pedido hasta la respectiva entrega se desarrolla en las siguientes etapas:

2.7.1. Primera Etapa

Aquí se realizan los siguientes procesos:

- Planeación de la producción
- Programación de producción
- Ingeniería (Planos)
- Compras
- Suministro de materia prima

2.7.2. Segunda Etapa

En esta etapa se inicia la producción del spool en la planta (Ver Anexo 6. Diagrama de Operaciones para fabricación de spools).

En el área destinada para la producción de spools se desarrollarán operaciones propias de calderería, soldadura y calidad, por otro lado las operaciones que se llevan a cabo en las secciones de habilitado, mecánica²⁴, pintura y almacén se realizarán en las secciones correspondientes.

a) Habilitado

Esta es la primera sección de la cadena de producción de spools, en esta área se corta los tubos que han sido liberados del almacén con el fin de cumplir con la programación respectiva.

a.1) Corte de tubos: Esta operación consiste en realizar el corte de los tubos según las especificaciones de los planos. La distribución de cortes para cada máquina sigue como parámetro los diámetros del tubo a cortar, como se puede apreciar en la Tabla 4. Corte de tubos según máquina.

²⁴ El área de mecánica participa en el proceso de producción únicamente cuando se es necesario realizar algún ranurado al spool o también para obtener el talón de juntas en spools con diámetro mayores a 6".

Tabla 4. Corte de tubos según máquina.

TUBOS \ CORTE	CON DISCO ABRASIVO	CON CORTADORA (OXICORTE)
Hasta 6"	√	
mayores de 6"		√

Fuente: Información proporcionada por la empresa

Los tubos con diámetro menor a 6 pulgadas son cortados con el disco abrasivo, el cual efectúa un corte recto sin bisel. Si para el tubo cortado con diámetro menor a 6" se especifica otro tipo de bisel, esta se tendrá que realizar en la máquina biseladora.

a.2) Biselado de tubo: Esta operación realiza diferentes tipos de bisel a los tubos con diámetro menor a 6", siendo los más comunes para los spools los de "V" y "J", que son requeridos según el proceso de soldadura a realizar. Figura 2. Biseladora de tubos hasta 6" de diámetro.

Figura 2. Biseladora de tubos hasta 6" de diámetro



El tubo biselado obtenido será trasladado hacia el área de spools por maniobristas quienes no marcan horas en WO's²⁵.

b) Calderería/Soldadura/Calidad (área spools)

El área de spools engloba a las secciones de calderería, soldadura y calidad; en lo que ha operaciones se refiere. Los tubos biselados de la sección habilitado, pasan a través de las operaciones de cada sección, las cuales son:

b.1) Armado: La operación de armado pertenece a trabajos de sección calderería y consta de la unión entre un tubo más algún accesorio (olets, bridas, codos, etc), a través del apuntalado que es realizado con soldadura MIG o GMAW (W-26). El número de puntos para cada junta depende del diámetro del spool que se arme. Cabe precisar que para el caso de la unión de un tubo más una brida existen dos tipos de junta diferente: slip on y welding let. La primera hace referencia cuando el tubo pasa por el agujero de brida y se apuntala en el borde externo de la misma, y la segunda se

²⁵ Las WO (Work Orders) son las horas destinadas para cada operación y que son marcadas por un operario para ser consumidas en la realización de dicha operación.

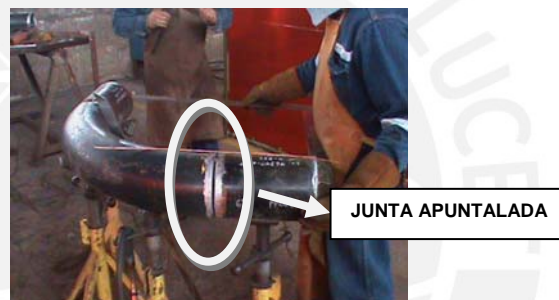
refiere a la junta del tubo mas una brida pero por el extremo de cada una (Ver Figura 3. Juntas tubo + bridas)

Figura 3. Juntas tubo + bridas



Una vez realizado el armado de spools (Ver Figura 4. Armado de spools), la pieza es llevada con el puente grúa, hacia el puesto de Soldadura, cabe mencionar que el traslado al puesto de soldadura es realizada por el maniobrista.

Figura 4. Armado de spools



b.2) Soldadura: Esta operación se compone en dos sub-operaciones, las cuales son:

- Pase raíz: Es el primer pase de soldadura después del apuntalado. Dependiendo del diámetro del tubo a soldar se escogerá el proceso de soldadura. (Ver tabla 5)
- Pase relleno y acabado: Después de realizar el pase de raíz se procede a rellenar la junta con el proceso de soldadura designado en los planos y posteriormente se le da un pase de acabado con el mismo proceso de soldadura del de relleno. Antes de realizar el pase de relleno y acabado, se procede a realizar pruebas al pase de raíz con líquidos penetrante, esto con el fin de observar la existencia de discontinuidades en la soldadura de raíz.

Luego de realizar todos los pases de soldadura. A todos los spool se le practica una prueba de calidad con rayos x, esta prueba se realiza en una zona designada para que el personal de calidad realice sus labores dentro del área de spools, para ello los maniobristas llevarán la pieza hacia dicha zona.

Tabla 5. Tipo de soldadura a usar de acuerdo al diámetro de tubo (en pulgadas)

		DIÁMETRO DE TUBOS					
		Ø 2 - 3	Ø 4 - 6	Ø 8 - 16	Ø 18 - 24	Ø 26 - 34	Ø 36 - 60
SOLDADURA	PASE RAÍZ	TIG	GMAW	GMAW	GMAW	GMAW	GMAW
	PASE ACABADO			SAW	SAW	SAW	SAW

Fuente: Información proporcionada por la empresa

c) Pintura

Una vez pasada las pruebas de calidad respectivas, el spool es llevado hacia el área de pintura por los maniobristas. Se procede a granallar el spool y luego a realizarle un pintado base con una pintura llamada Inorgánico Zinc. Posterior a la pasada de pintura base, el spool es dejado cierto tiempo al aire libre para su secado. Terminado el secado se comienza a realizar el pintado de acabado con la pintura Amerlock 400.

Finalmente otra prueba de calidad es realizada después del secado del pase de acabado. Para esta prueba el spool tuvo que ser llevado hacia la zona de calidad nuevamente por lo maniobristas. Esta prueba de calidad viene a ser la última prueba que aprobará que el spool sea liberado y puesto en almacén para su posterior entrega al cliente.

2.7.3. Tercera Etapa

Comprende la entrega del spool final al cliente. La entrega es hecha por la empresa al lugar del cliente o bien el cliente se encarga de recoger los spools de la planta.

3. Análisis y diagnóstico actual de la fabricación de spools

3.1. Identificación y definición de defectos

Para lograr una adecuada identificación de los posibles defectos que se presentan antes, durante y después del proceso de producción, se realiza una observación de cada una de las secciones implicadas en la fabricación del spool (Habilitado, calderería, soldadura, pintura).

Son los operarios y personal a cargo de cada proceso los que definieron los puntos críticos y las dificultades que se presentan, centrándose principalmente en la gravedad de la situación y la frecuencia con que ocurren.

La información recogida es organizada en la Tabla 6. Defecto vs. Proceso de producción, donde se muestran los defectos encontrados por sección o etapa, las posibles causas, así como los impactos de dichas dificultades en la fabricación spools. Los defectos y/o problemas encontrados se definen en el Anexo 1. Caracterización de los defectos encontrados. Estos defectos serán entonces el punto de partida que representa los aspectos que generan dificultades en el desarrollo del proceso de producción de spools.

Tabla 6. Defecto vs. Proceso de producción

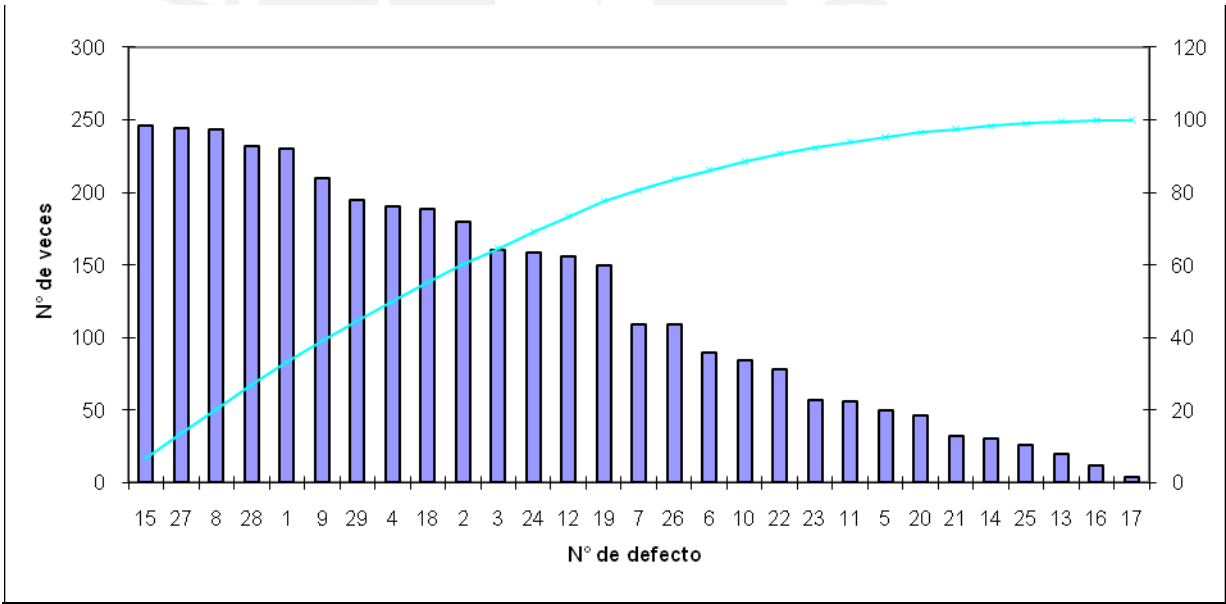
PROCESO	Nº DE DEFECTO	DEFECTO
ARMADO	1	Traslado de accesorios
	2	Disponibilidad del puente grúa
	3	Junta apuntalada
	4	Marcación de la W/O
	5	Redondez del codo y curva
	6	Paralelidad de los accesorios
	7	Cables eléctricos tendidos
	8	Spools armado
	9	Espacio armado de spools
	10	Ubicación de spools
	11	Mala rotación de spools
	12	Nivelado de juntas
HABILITADO	13	Abolladura en los tubos
	14	Revisión de material de proveedores
	15	Desorden del área de corte
	16	Falta de accesorios
	17	Conocimiento de las dimensiones del tubo
	18	Irregularidad en el corte de tubos
	19	Ajuste de antorcha de corte
	20	Incumplimiento de las tolerancias de corte
	21	Disponibilidad de la biseladora
	22	Biselado de tubos menores a 6"

SOLDADURA	23	Fundición del pase raíz
	24	Soldadura interrumpida por el viento
	25	Inoperatividad del soporte a soldar
	26	Conexiones eléctricas
	27	Traslado de spools (raíz - acabado)
PINTURA	28	Pintado de spools
	29	Espera de spools a pintar

Fuente: Elaboración propia

Como complemento de la información obtenida a partir de los aportes, vivencias y controles realizados por cada uno de los responsables de las operaciones, se procede a analizar los reportes históricos de la producción de spools en el lapso de un año aproximadamente; en base a ello, se elabora la gráfica que se muestra a continuación Figura 5. Pareto de defectos en el proceso de producción, de donde se puede inferir que 9 defectos (es decir, 31,03%) corresponden al 80 % de los problemas que deben solucionarse.

Figura 5. Pareto de defectos en el proceso de producción



Fuente: Elaboración propia

3.2. Puntos críticos del proceso de producción relacionados con defectos detectados

Luego de definir los defectos y haber realizado las observaciones más importantes, se enfatizan los puntos comunes dentro del proceso que integran las dificultades que se presentan en el proceso de fabricación de los spools. A partir de la relación encontrada entre los problemas identificados y cada uno de los procesos definidos en el mapa de procesos de la empresa metalmecánica en estudio (Ver Anexo 8), se procede a identificar los puntos críticos por medio de la aplicación de la herramienta llamada diagrama - matriz, la cual propone los siguientes pasos:

1. Conformar la matriz
2. Escoger los problemas, colocándolos en las filas correspondientes.
3. Enumerar los procesos que están relacionados con los problemas, situándolos en la columna matriz.
4. Relacionar el problema con el proceso respectivo. Analizando y marcando la fuerza de la relación con:

\otimes = Relación fuerte \bigcirc = Relación Δ = Relación débil

6. Evaluar las relaciones considerando:

\otimes = 3 puntos \bigcirc = 2 puntos Δ = 1 punto

Es así como a partir de la información encontrada sobre cada uno de los problemas evaluados se registra en una matriz de evaluación que permitirá la cuantificación respecto a la relación existente entre los problemas identificados y los puntos del proceso, la evaluación completa de los procesos de acuerdo con los defectos definidos a partir de la matriz propuesta se encuentra en el Anexo 10. Matriz de Evaluación de Puntos Críticos del Proceso de Producción. Por medio de la matriz desarrollada se establecen como puntos críticos dentro del proceso de fabricación de los spools los procesos que se presentan en la Tabla 7. Puntos críticos del proceso de producción.

Tabla 7. Puntos críticos del proceso de producción

PROCESO		Número de problemas en los que interviene	Puntuación definitiva	Participación en el total de los problemas
1	Calderería	18	48	28.13%
2	Soldadura	15	39	23.44%
3	Habilitado	11	28	17.18%

Fuente: Elaboración propia

Lo que se quiere conseguir con la identificación de los puntos críticos del proceso “es mostrar a cada dificultad presentada como parte del proceso y no como una situación aislada que no guarda relación con su entorno y desconoce la interacción de todo el sistema de producción”²⁶.

²⁶ Fuente: Womack & Jones. Lean Thinking. 1996. p34

3.3. Criterios de priorización

Para la priorización de los defectos detectados en el proceso de producción de spools se definieron ocho criterios que permiten evaluar cada uno de los defectos enunciados desde los diferentes aspectos de relevancia tanto para la empresa como para el desarrollo del presente trabajo. Cada uno de los criterios mencionados ha sido dividido en niveles, cada nivel evidencia la ubicación del defecto respecto a cada uno de los criterios. Los niveles mencionados reciben una calificación que oscila entre 0 y 5 puntos de acuerdo con el defecto que genera a la empresa y para el adecuado cumplimiento de la producción de los spools. De esta forma, los ocho criterios de priorización²⁷ y la descripción de sus respectivos niveles pueden ser consultados en el Anexo 11. Descripción y Calificación de los criterios de priorización para el Ordenamiento de Defectos Detectados en los Spools.

Realizada la puntuación a los diferentes niveles de los criterios establecidos, se define un peso porcentual para cada uno de los criterios, acorde con los objetivos que se pretenden alcanzar con el proyecto spool en la empresa y teniendo en cuenta la relevancia de dichos criterios para los objetivos estratégicos de la organización. Es así, como se obtienen los siguientes porcentajes para cada uno de los criterios. (Tabla 8. Criterios de Priorización para la Evaluación de Defectos Detectados)

Tabla 8. Criterios de Priorización para la Evaluación de Defectos Detectados²⁸

Item	CRITERIOS	IMPORTANCIA
1	Efecto económico para la empresa	12%
2	Frecuencia con la que se presenta	12%
3	Desperdicios materiales que se generan	12%
4	Desperdicios en tiempos que se generan	12%
5	Relevancia para la empresa	11%
6	Efecto en el cumplimiento de las especificaciones	16%
7	Efecto en las garantías	13%
8	Efecto en las condiciones del puesto de trabajo	12%
		100%

3.4. Priorización de defectos encontrados

Después de definir los parámetros de evaluación y la relevancia de cada uno de los mismos dentro del proceso de producción de spools, la aplicación de la herramienta a un defecto da como resultado una calificación mínima de 0 puntos y máxima de 5

²⁷ Algunos criterios fueron tomados como referencia de la Tesis consultada y validada con la empresa metalmecánica para su aplicación en la producción de spools.

²⁸ Para la determinación del peso porcentual de cada uno de los criterios se realizó una primera asignación de dichos porcentajes por parte del autor del presente trabajo de tesis, posteriormente fueron validados por el supervisor del proyecto spool. Lo anterior teniendo en cuenta que la relevancia de cada uno de los criterios está directamente relacionada con los objetivos que se quiere alcanzar con el desarrollo del presente trabajo y con los objetivos estratégicos de la empresa metalmecánica.

puntos; partiendo de los anterior, se ha decidido que aquellos defectos que obtengan una calificación superior a 3.25 puntos serán considerados como prioritarios. La calificación de 3.25 se establece ya que corresponde a defectos que obtienen un 65%²⁹ o más de la mayor calificación posible; es decir, que son los defectos críticos y que mayor impacto están generando en el cumplimiento de los pedidos de spools.

Finalmente, para verificar de la calificación realizada y obtener la definitiva para cada uno de los defectos se procede a realizar una validación de la puntuación con los responsables del área de producción de la empresa metalmecánica. En la Tabla 9. Puntos obtenidos por cada defecto en la priorización, se presenta el resumen después de calificar cada defecto encontrado, la calificación detallada de todos los defectos se encuentra en el Anexo 12. Matriz de Priorización de Defectos Detectados

Tabla 9. Puntos obtenidos por cada defecto en la priorización

Item	DEFECTO	Ptos.
1	Traslado de accesorios	3,27
2	Disponibilidad del puente grúa	2,71
3	Junta apuntalada	3,41
4	Marcación de la W/O	2,23
5	Redondez del codo y curva	3,20
6	Paralelidad de los accesorios	3,20
7	Cables eléctricos tendidos	2,01
8	Spools armado	3,63
9	Espacio armado de spools	3,27
10	Ubicación de spools	1,77
11	Mala rotación de spools	1,75
12	Nivelado de juntas	3,90
13	Abolladura en los tubos	3,08
14	Revisión de material de proveedores	2,21
15	Desorden del área de corte	4,11
16	Falta de accesorios	0,96
17	Conocimiento de las dimensiones del tubo	3,44
18	Irregularidad en el corte de tubos	3,51
19	Ajuste de antorcha de corte	2,01
20	Incumplimiento de las tolerancias de corte	3,42
21	Disponibilidad de la biseladora	3,03
22	Biselado de tubos menores a 6"	3,15
23	Fundición del pase raíz	2,81
24	Soldadura interrumpida por el viento	3,80
25	Inoperatividad del soporte a soldar	3,15
26	Conexiones eléctricas	2,01
27	Traslado de spools (raíz - acabado)	3,27
28	Pintado de spools	2,86
29	Espera de spools a pintar	3,46

²⁹ Este porcentaje fue establecido por el autor del presente Trabajo, tomando como referencia el trabajo de tesis aplicando las herramientas de manufactura esbelta, además fue validado por el supervisor del proyecto spool.

Acorde con la puntuación obtenida y el criterio previamente establecido de considerar como prioritarios aquellos defectos que obtuvieran una calificación mayor o igual a 3.25, se define que los defectos en los que se va a centrar el desarrollo de la propuesta son los que se presentan la Tabla 10. Defectos Seleccionados como Prioritarios.

Tabla 10. Defectos Seleccionados como Prioritarios

Nº Defecto	DEFECTO	PUNTUACIÓN
1	Traslado de accesorios	3,27
3	Junta apuntalada	3,41
8	Spools armado	3,63
9	Espacio armado de spools	3,27
12	Nivelado de juntas	3,90
15	Desorden del área de corte	4,11
17	Conocimiento de las dimensiones del tubo	3,44
18	Irregularidad en el corte de tubos	3,51
20	Incumplimiento de las tolerancias de corte	3,42
24	Soldadura interrumpida por el viento	3,80
27	Traslado de spools (raíz-acabado)	3,27
29	Espera de spools a pintar	3,46

3.5. Costo de los defectos seleccionados

Para dimensionar a nivel económico el impacto que puede traer para la empresa la solución de las dificultades presentadas o por lo menos la reducción en el número de veces que se presentan dichos defectos en proceso de fabricación de spools se presenta la Tabla 11. Costos adicionales asociados a los defectos seleccionados, en donde se puede observar el resultado de los cálculos realizados y el valor económico para cada defecto seleccionado como prioritario en el lapso de un año.

Estos costos adicionales generados por los reprocesos y modificaciones de los spools defectuosos son una primera representación de los ahorros que puede genera la empresa al reducir la frecuencia con la cual se presentan dichos defectos en la línea de producción.

De esta forma se pueden determinar que la empresa metalmecánica en estudio puede llegar a generar un ahorro anual de S/. 5'338,824.46, al reducir la presencia de estos defectos en los spools a lo largo de la línea de producción. El detalle de los ahorros generados por los defectos no prioritarios puede encontrarse en el Anexo 13. Ahorros generados por defectos no prioritarios.

Tabla 11. Costos Adicionales Asociados a Defectos los Seleccionados³⁰

N° Def.	DEFECTO	Tiempo (min)	Costo de Tiempo (Mano de Obra) ³¹	Costo de Materiales	Costo Logístico ³²	Costo Total por Operación	Tiempo Total (min)	Frec. anual	Costo Anual
1	Traslado de accesorios	25	S/. 203.65	S/. 0.00	S/. 50.00	S/. 253.65	5750	230	S/. 58,339.50
3	Junta apuntalada	30	S/. 360.00	S/. 800.00	S/. 0.00	S/. 1,160.00	4800	160	S/. 185,600.00
8	Spools armado	45	S/. 550.00	S/. 700.00	S/. 0.00	S/. 1,250.00	10935	243	S/. 303,750.00
9	Espacio armado spool	25	S/. 546.28	S/. 0.00	S/. 250.00	S/. 796.28	5250	210	S/. 167,218.80
12	Nivelado de juntas	68	S/. 947.28	S/. 600.00	S/. 5,500.00	S/. 7,047.28	10608	156	S/. 1,099,375.68
15	Desorden área de corte	32	S/. 300.00	S/. 630.00	S/. 0.00	S/. 930.00	7872	246	S/. 228,780.00
17	Conocimiento de las dimensiones del tubo	45	S/. 91.67	S/. 460.00	S/. 5,500.00	S/. 6,051.67	180	4	S/. 24,206.68
18	Irregularidad en el corte de tubos	5	S/. 935.16	S/. 700.00	S/. 0.00	S/. 1,635.16	945	189	S/. 309,045.24
20	Incumplimiento de las tolerancias de corte	30	S/. 191.74	S/. 700.00	S/. 5,500.00	S/. 6,391.74	1380	46	S/. 294,020.04
24	Soldadura interrumpida por le viento	20	S/. 350.00	S/. 890.00	S/. 5,500.00	S/. 6,740.00	3180	159	S/. 1,071,660.00
27	Traslado de spools (Pase raíz - Pase acabado)	21	S/. 889.00	S/. 0.00	S/. 145.83	S/. 1,034.83	5124	244	S/. 252,498.52
29	Espera de spools a pintar	20	S/. 964.00	S/. 430.00	S/. 5,500.00	S/. 6,894.00	3900	195	S/. 1,344,330.00
						S/. 40,184.61	59924		S/. 5 338,824.46

3.6. Identificación de causas de los defectos prioritarios

Finalmente, la identificación de causas de los diferentes defectos catalogados como prioritarios se hizo posible por la información obtenida en la identificación y definición de los defectos, que al ser integrada con una lluvia de ideas realizado al personal a cargo del proceso, se plantean diferentes puntos de origen para los defectos. De esta manera, el resultado del proceso de análisis de causas se encuentra en el Anexo 14. Diagramas Causa – Efecto para Defectos Seleccionados como Prioritarios.

³² La información utilizada para calcular costos de materias primas y mano de obra para cada uno de los defectos fue proporcionada por la empresa metalmecánica.

³⁰ Los costos relacionados con la mano de obra en el arreglo de los defectos detectados incluyen la carga prestacional asociada para la empresa. Dichos costos fueron proporcionados por la empresa metalmecánica.

³¹ Los costos logísticos son calculados asumiendo un valor promedio del transporte de ida y vuelta igual a S/. 16500, teniendo en cuenta que los spools son enviados a un recinto minero en Huaraz. Adicional a esto, se tiene en cuenta la frecuencia con la cual son detectados cada uno de los defectos por los clientes cuando son entregados y no por la empresa, información que fue proporcionada por la empresa metalmecánica.

Luego de analizar las causas mencionadas y organizarlas en los diagramas de pescado, se hizo posible reconocer algunas causas comunes en los diferentes defectos. Para el reconocimiento de las causas comunes se centró el análisis en determinadas características para todos los defectos entre las que se encuentra las siguientes agrupaciones, que se detalla a continuación:

- Mano de Obra: Varios defectos presentan como causas comunes la experiencia de los trabajadores que no tienen una capacitación continua, la disponibilidad del maniobrista; así como la concentración de cada persona en el desarrollo de su labor. Estos factores están determinados en ocasiones por las distracciones que se pueden generar en torno a los puestos de trabajo y que se asocian también con el elevado componente manual en proceso.
- Máquina: En este aspecto la causa más común es el mantenimiento que se le debe dar a la máquina, especialmente a la de corte, para evitar la repetitividad de los defectos.
- Medio Ambiente: En este aspecto destacan la falta de orden y limpieza en los diferentes puestos de trabajo y áreas de la planta de producción.
- Material: Entre las causas asociadas a este aspecto, se encuentran principalmente las abolladuras, golpes que presentan los tubos, así como el espesor que presentan los mismos.
- Administración: A este aspecto se asocia la claridad en los procedimientos, así como las dificultades en la comunicación y la especificidad en las mismas, para determinar los spools a fabricar y las características de estos.
- Método de trabajo: En el método de trabajo se resalta la realización de actividades en forma simultánea sin el establecimiento de prioridades, así como la falta de instructivos de trabajo establecidos.

4. Herramientas de manufactura esbelta

Cada herramienta tiene un objetivo específico y esencial en el funcionamiento global del sistema de producción esbelto. Basándose en las características y beneficios de dichas herramientas se establece cuales aplicar en el sistema de producción de spools.

4.1. Asignación de herramientas a utilizar

Utilizando la identificación de defectos, se procede a fijar los criterios bajo los cuales serán valorados los defectos para así determinar las herramientas de manufactura esbelta que se van a utilizar en cada uno de éstos.

Para la evaluación de los defectos, se han establecido principios fundamentales de cada una de las seis herramientas de manufactura esbelta (Ver Tabla 12. Principios de las herramientas de manufactura esbelta) los cuales, permiten cuantificar la fuerza de la relación existente entre el defecto presentado y la característica que la herramienta ofrece para solucionarlo.

Tabla 12. Principios de las herramientas de manufactura esbelta

Herramientas	Principio
5'S	Organizar, ordenar y limpiar
	Estandarizar
	Disciplina
Kanban	Identificación de materiales o producto en proceso
	Información de producción entre procesos
	Control de niveles de inventario
Justo a tiempo	Calidad en la fuente
	Sistema de halar
	Desarrollo de proveedores
Jidoka	Verificación de calidad integrada al proceso
	Definición de parámetros óptimos de calidad
	Mecanismos para detectar anomalías en el sistema
Poka Yoke	Retroalimentación rápida de errores
	Verificación constante
	Mecanismos para prevenir o detectar errores
Andon	Tiempo de respuesta ante dificultades
	Identificación de piezas defectuosas
	Estado de operación de las estaciones de trabajo

Cada uno de los principios enunciados en la tabla 12, simboliza posibles ausencias en el proceso de producción que llevan a generar los defectos. Dichos principios de cada herramienta reciben una calificación que puede oscilar entre 0 y 10 puntos³³ de acuerdo a la relación existente entre el defecto y la característica con que la herramienta cuenta para solucionar el mismo. De acuerdo a esto, la fuerza de la relación existente entre el defecto presentado y el principio que la herramienta ofrece

³³ Utilizando solo números enteros

para solucionarlo será calificado teniendo en cuenta la escala de cero(0) a diez(10), siendo cero al mínima calificación y diez la máxima; es decir el cero representa que no existe relación entre el defecto y el principio que la herramienta ofrece para solucionarlo; y diez cuando existe una relación fuerte entre el defecto y el principio que la herramienta ofrece para solucionarlo.

4.2. Evaluación de los defectos frente a las herramientas de manufactura esbelta

Acabado de definir los principios de evaluación, la aplicación de la herramienta a un defecto da como resultado una calificación mínima de 0 puntos y máxima de 30 puntos en cada herramienta; entonces, en base a lo anterior, se ha decidido que aquellas herramientas que obtengan una calificación mayor o igual a 24 puntos serán consideradas como las aplicables o las que directamente solucionan el defecto; sin embargo, aquellas herramientas con puntaje menor a 24 y en el rango de 15 a 23 puntos, no quiere decir que no son aplicables, sino que impactan de menor manera la solución del defecto en evaluación. La calificación de 24 puntos corresponde a las herramientas cuyos principios se ajustan en un 80%³⁴ o más, a la solución de los defectos; es decir, que son las herramientas principales y que mayor impacto generan en la solución de los defectos identificados. La calificación detallada de cada factor que compone las herramientas puede consultarse en el Anexo 15. Calificación detallada de las herramientas de manufactura esbelta. A partir de este resultado se obtiene la calificación que se presenta en la Tabla 13. Puntuación de herramientas a utilizar en los defectos detectados.

Tabla 13. Puntuación de herramientas a utilizar en los defectos detectados

PUNTUACIÓN DE HERRAMIENTAS A UTILIZAR EN LOS DEFECTOS DETECTADOS							
N°	DEFECTO	HERRAMIENTA					
		5°S	Kanban	Justo a tiempo	Jidoka	Poka Yoke	Andon
1	Traslado de accesorios	15	27	8	0	0	8
2	Disponibilidad del puente grúa	15	24	8	0	0	8
3	Junta apuntalada	0	8	10	30	28	25
4	Marcación de la W/O	0	0	0	0	24	5
5	Redondez del codo y curva	0	5	10	30	28	27
6	Paralelidad de los accesorios	0	5	10	30	28	27
7	Cables eléctricos tendidos	26	0	0	0	0	0
8	Spools armado	26	27	20	0	0	8
9	Espacio armado de spools	26	27	20	0	0	8

³⁴ Establecido por el autor del trabajo, tomando como referencia la tesis consultada sobre manufactura esbelta y validada con el jefe del proyecto spool.

10	Ubicación de spools	19	30	0	0	8	10
11	Mala rotación de spools	20	30	10	0	4	5
12	Nivelado de juntas	24	0	10	30	30	28
13	Abolladura en los tubos	0	5	10	30	28	27
14	Revisión de material de proveedores	0	5	20	30	28	27
15	Desorden del área de corte	18	27	20	0	0	8
16	Falta de accesorios	0	5	10	30	28	27
17	Conocimiento de las dimensiones del tubo	0	25	0	0	15	0
18	Irregularidad en el corte de tubos	26	16	14	30	26	26
19	Ajuste de antorcha de corte	26	0	0	0	0	18
20	Incumplimiento de las tolerancias de corte	0	26	10	28	26	21
21	Disponibilidad de la biseladora	24	18	8	0	0	8
22	Biselado de tubos menores a 6"	24	0	28	28	26	21
23	Fundición del pase raíz	6	18	10	30	28	25
24	Soldadura interrumpida por el viento	20	0	15	24	20	16
25	Inoperatividad del soporte a soldar	26	10	8	0	0	0
26	Conexiones eléctricas	26	0	0	0	0	0
27	Traslado de spools (raíz - acabado)	24	18	25	0	0	8
28	Pintado de spools	24	23	0	28	5	0
29	Espera de spools a pintar	24	15	0	0	0	8

4.3. Herramientas de manufactura esbelta aplicables a los defectos identificados

En base a la calificación anterior, se tiene que las herramientas de manufactura esbelta a utilizar en cada uno de los defectos identificados son las que se muestran en la Tabla 14. Herramientas de Manufactura Esbelta Asignadas a los Defectos.

Tabla 14. Herramientas de Manufactura Esbelta Asignadas a los Defectos

N°	DEFECTO	HERRAMIENTA A UTILIZAR
1	Traslado de accesorios	kanban
2	Disponibilidad del puente grúa	kanban
3	Junta apuntalada	jidoka - poka yoke - andon
4	Marcación de la W/O	poka yoke
5	Redondez del codo y curva	jidoka - poka yoke - andon
6	Paralelidad de los accesorios	jidoka - poka yoke - andon
7	Cables eléctricos tendidos	5's
8	Spools armado	5's - kanban
9	Espacio armado de spools	5's - kanban
10	Ubicación de spools	kanban
11	Mala rotación de spools	kanban
12	Nivelado de juntas	5's - jidoka - poka yoke - andon
13	Abolladura en los tubos	jidoka - poka yoke - andon
14	Revisión de material de proveedores	jidoka - poka yoke - andon
15	Desorden del área de corte	kanban

16	Falta de accesorios	jidoka - poka yoke - andon
17	Conocimiento de las dimensiones del tubo	kanban
18	Irregularidad en el corte de tubos	5's - jidoka - poka yoke - andon
19	Ajuste de antorcha de corte	5's
20	Incumplimiento de las tolerancias de corte	kanban - jidoka - poka yoke
21	Disponibilidad de la biseladora	5's
22	Biselado de tubos menores a 6"	5's - justo a tiempo - jidoka - poka yoke
23	Fundición del pase raíz	jidoka - poka yoke - andon
24	Soldadura interrumpida por el viento	jidoka
25	Inoperatividad del soporte a soldar	5's
26	Conexiones eléctricas	5's
27	Traslado de spools (raíz - acabado)	5's - justo a tiempo
28	Pintado de spools	5's - jidoka
29	Espera de spools a pintar	5's

En la tabla anterior están observadas la totalidad de defectos definidos y las respectivas herramientas de manufactura esbelta que podrían utilizarse en su solución. Cabe señalar que con las herramientas de manufactura esbelta a utilizar no sólo se solucionan los defectos seleccionados, sino que se solucionan o disminuyen un número mayor defectos, ya que manufactura esbelta es un conjunto de herramientas que se complementan recíprocamente en la eliminación de mudas y en la construcción de una filosofía de mejora continua que le permita a la empresa metalmecánica satisfacer a sus clientes con la fabricación de spools y ser competitiva en un mercado global.

4.4. Herramientas de manufactura esbelta aplicables a la solución de los defectos seleccionados como prioritarios

De acuerdo a la evaluación de los defectos realizada en el punto anterior, las herramientas de manufactura esbelta a utilizar en los defectos prioritarios en el presente trabajo son:

Tabla 15. Herramientas a utilizar para solucionar cada uno de los defectos prioritarios

N°	DEFECTO	HERRAMIENTA A UTILIZAR
1	Traslado de accesorios	kanban
3	Junta apuntalada	jidoka - poka yoke - andon
8	Spools armado	5's - kanban
9	Espacio armado de spools	5's - kanban
12	Nivelado de juntas	5's - jidoka - poka yoke - andon
15	Desorden del área de corte	kanban
17	Conocimiento de las dimensiones del tubo	kanban
18	Irregularidad en el corte de tubos	5's - jidoka - poka yoke - andon

20	Incumplimiento de las tolerancias de corte	kanban - jidoka - poka yoke
24	Soldadura interrumpida por el viento	jidoka
27	Traslado de spools (raíz - acabado)	5's - justo a tiempo
29	Espera de spools a pintar	5's

Después de que se hayan identificado las herramientas a utilizar en cada uno de los defectos definidos, se hace énfasis en los defectos definidos como prioritarios. Para esto, se profundizó en la relación existente entre cada uno de los problemas seleccionados y las herramientas a utilizar, buscando que la aplicación de las herramientas se ajuste a los requerimientos de la empresa.

Este proceso se realizó tomando como referencia cada una de las etapas realizadas previamente; el conocimiento del proceso de fabricación de spools, definición y priorización de los defectos con sus respectivas causas; esto con el fin de integrar la información obtenida y generar propuestas que cubran las necesidades de la empresa en estudio.

Se analizó de forma más clara las razones para utilizar, en la solución de los defectos prioritarios, cada una de las herramientas obtenidas a partir de la calificación, este desarrollo se encuentra en el Anexo 16. Observaciones Sobre las Herramientas Asignadas a la Solución de cada Defecto.

5. La cultura organizacional en un sistema de manufactura esbelta

Como se mencionó en los fundamentos del sistema de producción esbelto, un elemento principal es la cultura organizacional, razón por la cual se presenta el papel que desempeña el personal en una organización esbelta.

5.1. El papel de la cultura organizacional en la filosofía de manufactura esbelta

Para Womack Jones (1996), en el pasado se ha desperdiciado la inteligencia y creatividad del trabajador, más aún en las organizaciones que prefieren las estructuras piramidales, donde es común que cuando un trabajador de nivel operativo presenta una idea o propuesta, no sea tenida en cuenta.

En la transformación de una organización hacia un sistema de manufactura esbelta, es necesario cambiar maneras de trabajar y es fundamental que todos trabajen bajo una misma filosofía, en la cual, el aspecto fundamental es saber que todos los individuos están interrelacionados a lo largo de la cadena de valor y que cada persona realiza una actividad particular que contribuye al cumplimiento de un todo, de la tarea más grande de la organización, que es ser la mejor en lo que hace.

5.2. Características de la cultura organizacional de la empresa metalmecánica

La empresa metalmecánica en estudio es una organización con una trayectoria de 52 años, durante los cuales ha mantenido la investigación como una constante, buscando involucrar nuevos recursos a nivel tecnológico, desarrollando el talento humano y manteniendo la filosofía de prestar cada vez un mejor servicio a los clientes, tal y como está expresado en la misión de la compañía (Ver capítulo 2). La empresa en estudio es una metalmecánica que ha recorrido un camino interesante y próspero tanto en el mercado nacional como en el internacional.

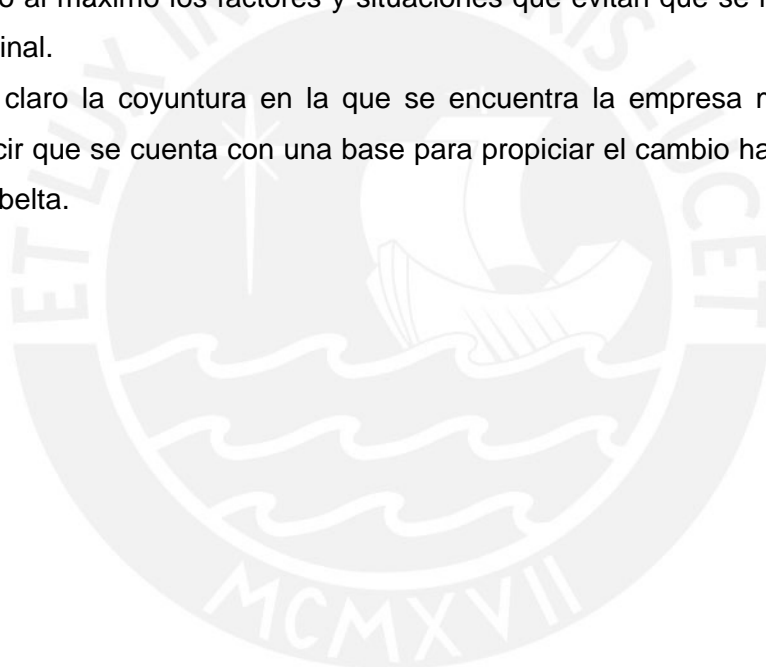
Hace tres años aproximadamente se da inicio a un proceso de sensibilización, concienciación y retroalimentación de lo que había sido la historia de la producción en la empresa, permitiendo que una organización con una cultura organizacional informal descubriera la necesidad de iniciar nuevos procesos de actualización y organización del sistema de producción, así como los demás procesos (administrativos, compras, servicio al cliente, etc.). Como respuesta a lo anterior, la empresa ha venido trabajando constantemente hasta conseguir la certificación de calidad ISO 9001:2008, para esto ha venido realizando cambios, dando gran importancia a la capacitación y al entrenamiento de sus trabajadores.

Esta transformación ha tenido una respuesta favorable de parte de las personas que conforman el grupo de trabajo del área de producción, quienes con su amplia

experiencia y conocimientos de los procesos que se manejan, han descubierto poco a poco las capacidades que pueden desarrollar, lo importante de su labor diaria y como efecto relevante han logrado empezar a empoderarse de sus estaciones, pues sin darse cuenta, el camino que habían recorrido en la organización, les brindó herramientas y conocimientos para tomar decisiones que permiten que en sus puestos de trabajo las actividades se desarrollen de una mejor manera.

Debido a esto, se puede decir que la empresa se encuentra en un proceso de transición, a nivel productivo y cultural, del cual se crea una nueva oportunidad, el aprovechamiento de una propuesta enfocada al cambio cultural de la organización para integrar dentro de la empresa la filosofía del pensamiento esbelto en la que se pretende un funcionamiento armónico de los diferentes procesos productivos, reduciendo al máximo los factores y situaciones que evitan que se le agregue valor al producto final.

Teniendo claro la coyuntura en la que se encuentra la empresa metalmecánica, se puede decir que se cuenta con una base para propiciar el cambio hacia una cultura de trabajo esbelta.



6. Modelo de aplicación de la manufactura esbelta

Mediante la asignación de las herramientas de manufactura esbelta que se ajustan a la solución de los defectos y/o problemas; se procede a adaptar estas herramientas para la solución de los defectos seleccionados como prioritarios en el presente trabajo.

6.1. Adaptación de herramientas de manufactura esbelta a las necesidades encontradas en la fabricación de spools

Con la lluvia de ideas se inició la adaptación de las herramientas de manufactura esbelta, pues esta técnica brinda la posibilidad de involucrar, desde el inicio de la construcción del modelo de mejora que se propondrá, al personal de la empresa metalmecánica. Posterior a la lluvia de ideas se realizó una nueva reunión para presentar de manera ordenada y agrupada las herramientas de manufactura esbelta que se explicaron en el capítulo uno, además de las ideas generadas, con lo cual se inició la adaptación de cada herramienta en la solución de los defectos seleccionados en el sistema de producción de spools.

6.1.1. Fundamento de las herramientas

Los tres puntos que se muestran a continuación son necesarios y significativos en la adaptación de cualquiera de las herramientas, sin tomar en cuenta cuál será seleccionada en cada herramienta; los puntos son los siguientes³⁵:

- I. Capacitar a los involucrados en el proceso acerca de la filosofía y fundamentos del pensamiento esbelto, dando a conocer los lineamientos generales que permiten lograr la sensibilización de las personas ante la propuesta.
- II. Conformar equipos de trabajo constituidos por los integrantes de las diferentes etapas del proceso de producción; cada uno de los grupos será el encargado de liderar la implementación de una de las herramientas en la planta de producción.
- III. Redactar el objetivo de cada herramienta de manufactura esbelta en términos de los procesos para la fabricación de spools, con el fin de que todas las personas los conozcan y los grupos de trabajo tengan un solo objetivo común, expresado explícitamente en un lugar visible de la planta.

6.1.2 Etapas a seguir para la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta

³⁵ Fuente: Womack & Jones. Lean Thinking. 1996.

Partiendo de los tres pasos generales enunciados en el numeral 6.1.1., se procede con las etapas que constituyen el proceso de aplicación de cada herramienta de manufactura esbelta (Ver Anexo 17. Etapas Generales para la aplicación de las herramientas). Dichas etapas, son desarrolladas de forma detallada para cada una de las herramientas seleccionadas como aplicables en el proceso de producción de spools, las cuales constituyen un modelo de aplicación de las herramientas, el cual se presenta a continuación:

6.1.2.1. 5S

Este concepto se refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y seguras; es decir, se trata de imprimirle mayor “calidad de vida” al trabajo.

6.1.2.1.1. Secuencia de Implementación de las 5S

Para la implementación de las 5S³⁶ se presentan los siguientes pasos:

- a. Definir responsable: Definir coordinador para la implementación y mantenimiento del sistema 5S, generar procedimiento, áreas aplicables y responsables.
- b. Capacitación y difusión: Capacitar a la gente a seguir el buen hábito del medio ambiente de calidad, requerido en la empresa.
- c. Implementación 5S: Eliminar lo innecesario, ordenar, identificar, clasificar, limpiar y mantener.
- d. Auditorías del sistema 5S.
- e. Acciones correctivas: Elaboración de planes para corregir y prevenir no conformidades.
- f. Seguimiento: Monitoreos y revisiones internas del área, cierre de auditorías.
- g. Mantenimiento y mejora.

Tomando como punto de partida la secuencia de pasos presentada y otros textos representativos en temas referentes a manufactura esbelta (Lean Production Simplified y Lean Transformation), así como, teniendo en cuenta las características del proceso de fabricación de spools, la presencia de defectos en los productos y la cultura organizacional de la empresa metalmecánica; se muestra como metodología de aplicación de la 5S los siguientes puntos:

³⁶ 5S For Operators. Japan Institute of plant. Maintenance Productivity Press. 1996.

I. Capacitar a todas las personas involucradas en los principios básicos de 5S, sus características y beneficios fundamentales.

La capacitación debe de centrarse en los siguientes parámetros:

- Objetivo General de la Capacitación: Dar a conocer las 5S como una herramienta útil en los puestos de trabajo, facilitando la identificación y comprensión de conceptos básicos de las 5S.
- Objetivos Específicos de la Capacitación:
 1. Entender el significado de la herramienta 5S
 2. Identificar los objetivos y características de 5S
 3. Conocer los beneficios de 5S
 4. Propiciar la aplicación de los conocimientos adquiridos sobre 5S a los puestos de trabajo y a los diferentes espacios de la planta de producción
- Metodología: La capacitación se desarrolla en tres etapas de la siguiente forma:
 1. Documento previo: En el inicio de la capacitación a cada uno de los participantes se le entrega previamente un documento que incluye: 5S: ¿Qué es?, objetivos, características y beneficios.
 2. Capacitación de las tres primeras 5S (Organizar, Ordenar y Limpiar): Se realizará una sesión teórico-práctica donde a partir de actividades aplicables a espacios comunes en la cotidianidad (La casa, el puesto de trabajo, entre otros) se desarrollen los conceptos de cada una de las eses y se establezcan compromisos particulares para las diferentes áreas de trabajo.
 3. Capacitación en Estandarizar y Disciplinar: Se realizará por medio de un taller, donde a partir de los avances alcanzados en el proceso de producción por medio de los compromisos adquiridos en la primera sesión de capacitación, se comprendan los conceptos restantes de 5S.

II. Verificar pre-requisitos e identificar restricciones del proceso de producción para la aplicación de 5S en los diferentes puestos de trabajo y áreas de la planta de producción.

a. Verificar Pre-requisitos: Se puede contemplar como pre-requisitos los siguientes puntos:

- El seguimiento del orden secuencial de cada una de las 5S con el propósito de obtener resultados lógicos y coherentes que conlleven a la estandarización y autodisciplina en la organización del puesto de trabajo.

- Se debe establecer un lugar específico para la ubicación y depósito de materiales usados con poca frecuencia en los puestos de trabajo, así como de materiales innecesarios.

b. Identificación de restricciones: 5S es una herramienta enmarcada es una aplicación que resulta sencilla y que parte de la organización del entorno de la persona, por tal razón no se identifica ninguna restricción en la aplicación de la herramienta.

III. Establecer el alcance de la herramienta

De acuerdo con los criterios y prioridades establecidas en el capítulo 3, se considera primordial su aplicación en las áreas de: calderería, soldadura y habilitado.

IV. Redactar el objetivo de 5S en términos de los procesos de fabricación de spools y asociar cada proceso con el beneficio principal que se desea obtener por medio de la aplicación de la herramienta.

El objetivo general de 5S debe volverse a redactar en términos de los procesos y los propósitos que se pretenden lograr. Entonces, podría redactarse de la siguiente forma: “Mejorar la infraestructura de las áreas de trabajo buscando un funcionamiento más eficiente y uniforme que facilite la organización, limpieza y estandarización de los puestos de trabajo debido a la iniciativa de cada uno de los miembros del equipo de producción”.

De igual forma debe establecerse de forma clara y concisa el beneficio principal que se desea alcanzar en las áreas de trabajo donde se implementara las 5S (Ver Tabla 16. Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de 5S):

Tabla 16. Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de 5S

ÁREA	BENEFICIO PRINCIPAL
Calderería	Reducción de defectos en el apuntalado de spools , lo que a su vez genera una reducción de gastos.
Soldadura	Mayor aseguramiento de la calidad
Habilitado	Tiempos de respuesta más cortos

V. Acondicionar un lugar para iniciar el proceso de eliminación de desperdicios y organización de los puestos de trabajo

En el lugar establecido como depósito, mencionado en la verificación de pre-requisitos, se establece dos áreas, una corresponde a elementos utilizados con poca frecuencia y la segunda para aquellos elementos innecesarios en los puestos de trabajo. Dicha asignación se realiza teniendo en cuenta que los materiales utilizados con poca

frecuencia deberán permanecer almacenados en la planta, mientras que los materiales innecesarios deberán ser retirados en forma permanente de las instalaciones del puesto de trabajo.

VI. Clasificar los diferentes elementos que se encuentran dentro del área de trabajo

Se clasifica los elementos que se encuentran en un puesto de trabajo de acuerdo con la frecuencia de uso (Tabla 17. Clasificación de elementos del área de trabajo por colores):

Tabla 17. Clasificación de elementos del área de trabajo por colores

Elementos utilizados constantemente para la realización de la labor		
Elementos que son utilizados en el puesto de trabajo, pero que no se utilizan de forma constante		
Elementos que no se requieren en el puesto de trabajo	Elementos que pueden ser utilizados en otra área de la producción	
	Elementos que no son necesarios en ninguna parte del proceso de producción (Eliminación del por si acaso)	

VII. Retirar elementos innecesarios del puesto de trabajo

Los elementos clasificados como no requeridos en el puesto de trabajo (Etiquetas naranjas y rojas) son retirados del puesto de trabajo y ubicados en el depósito acondicionado para el almacenamiento de estos elementos. Los elementos con etiquetas rojas (no utilizados en la organización) se ubican en el espacio delimitado para elementos innecesarios. Los elementos con etiquetas naranja después de ser llevados al depósito vuelven a ser revisados para determinar si alguno de estos elementos debe ubicarse en otro puesto de trabajo específico o si deben mantenerse en el depósito debido a la baja frecuencia o especificidad con la que son utilizados.

VIII. Ubicar los elementos utilizados dentro del puesto de trabajo de acuerdo con la forma en la que fueron clasificados.

Una vez retirados los elementos innecesarios del puesto de trabajo se procede a ordenar los elementos utilizados (etiquetas verdes y amarillas) teniendo presentes las siguientes pautas:

- Los elementos utilizados con mayor frecuencia se ubican de forma práctica y a poca distancia del área donde la persona realiza normalmente su trabajo.
- Los elementos utilizados con menor frecuencia pueden ubicarse a una mayor distancia que los anteriores, buscando siempre la comodidad, practicidad y facilidad en el desarrollo del trabajo.

IX. Limpiar el área de trabajo

Una vez que se han definido los lugares en los que se ubicarán los diferentes elementos de acuerdo con sus características y las necesidades de trabajo de cada una de las personas en su puesto de trabajo se procede a limpiar el puesto de trabajo; esto significa que se elimina la suciedad (polvo, manchas, residuos, entre otros).

X. Realizar una prueba de la clasificación realizada.

Una vez organizada y limpia el área de trabajo se debe dar quince (15) días de prueba para asegurar que la clasificación realizada por cada persona en su puesto de trabajo sea la adecuada. Esto permite asegurar que los elementos que se clasificaron como innecesarios en el puesto de trabajo no son utilizados con frecuencia.

XI. Realizar los ajustes necesarios para asegurar la comodidad de las personas y facilitar el desarrollo del trabajo realizado.

Teniendo la certeza de que los elementos que se encuentran en el puesto de trabajo son realmente necesarios y que se han retirado los artículos innecesarios, la persona responsable de cada puesto deberá realizar los reajustes necesarios en la ubicación de los elementos para asegurar su comodidad y facilitar la realización de su trabajo.

XII. Estandarizar los logros alcanzados con la realización de los pasos anteriores.

Una vez establecida la forma adecuada para la organización de los elementos dentro del puesto de trabajo se establece un modelo de la forma en la que deben ubicarse los elementos en el puesto de trabajo (Ver Figura 6. Estante diseñado para el almacenamiento de herramientas) y las condiciones en las que esté debe permanecer. Es decir, se normaliza la ubicación de los elementos en el puesto de trabajo para asegurar que se mantengan a lo largo del tiempo los logros obtenidos.

Figura 6. Estante diseñado para el almacenamiento de herramientas



XIII. Dar a los trabajadores control y autonomía sobre sus lugares de trabajo

Una vez que se han establecido normas y formas claras sobre la forma en la que debe organizarse el puesto de trabajo, resulta necesario entregar la responsabilidad sobre la conservación del lugar a la persona responsable del puesto de trabajo. Cada trabajador debe ser responsable de su puesto de trabajo, teniendo la libertad para hacer cambio y mejoras que le permitan desarrollar su trabajo mejor.

6.1.2.1.2. Impacto de 5S sobre los defectos

Centrado la atención en los defectos seleccionados como prioritarios para el desarrollo del trabajo (Examinar numeral 4.2.3), la aplicación de las 5S en el sistema de producción de spools impacta de forma directa en el corte, armado y pintado de los spools, como se explicará a continuación:

a) Irregularidad en el corte de tubos: Los cortes de tubos (Figura 7. Puesto de trabajo corte de tubos por oxicorte) son realizados mediante el proceso de oxicorte y para que el tubo llegue hasta el área de corte realiza un recorrido desde el área de almacén, empleando primero un tractor grúa y después un puente grúa. Cualquier tipo de abolladura o golpe que pueda sufrir el tubo, así como la presencia de elementos extraños, residuo o mugre que se encuentre en el recorrido de los tubos puede hacer que el corte sea irregular. A ello hay que agregarle el viento al momento del corte, que es generado por la mala ubicación del puesto; y el desorden actual en cuanto a herramientas y accesorios de corte.

Figura 7. Puesto de trabajo corte de tubos por oxicorte



b) Armado de spools: Al spool que llega al área de armado se le realiza básicamente el nivelado de juntas y el apuntalado de los mismos. Una cantidad de herramientas en el puesto hace difícil la ubicación de la necesaria en la operación, incrementando el tiempo de espera; por otro lado, la no disposición de lugares establecidos para colocar los spools en espera, en proceso y terminados hace que se incremente el tiempo de operación, así como el desorden. Además, la presencia de residuos del corte y

polvillos del esmerilado, de soldados anteriores o de puestos cercanos impactan de mala forma en el apuntalado. Por último, el tener desordenado el puesto hace que los soportes donde se colocan los tubos para ser armados, no se encuentren nivelados incurriéndose en una gran dificultad para el nivelado de juntas. A continuación se muestra una mejora (Ver Figura 8. Áreas delimitadas en el puesto de armado de spools) en la infraestructura del puesto de armado, como es la delimitación de áreas de operación, espera y spools terminados, así como la delimitación de la mesa, el estante y la máquina de soldar.

Figura 8. Áreas delimitadas en el puesto de armado de spools



c) Pintado de spools: Los spools que llegan al área de pintado, son aquellos en los que se terminaron los trabajos de soldadura y soldadura, solo necesitan la operación de pintura para sean un spool final. El pintado se hace dificultoso cuando existe la presencia de polvos, elementos extraños y/o suciedad rodeando la pieza, además el no tener la zona debidamente marcada para cada estado del spool, hace difícil el transporte de los mismo, aumentando el tiempo de manipuleo y generando esperas en los spools que llegan al área.

6.1.2.2. Kanban

La herramienta Kanban fue originalmente desarrollada por la organización Toyota, como manera de manejo del flujo de materiales en una línea de ensamble. A partir de su aplicación en las plantas de esta firma y luego en otras organizaciones; se han desarrollado pasos para implementar dicha herramienta, como los siguientes:

6.1.2.2.1. Implementación de Kanban en cuatro fases

Teniendo como fundamento las fases de implementación de kanban (Examinar numeral 1.4.2) y algunos de los textos más representativos de manufactura esbelta como son: Lean Transformation del autor Womack, James P./ Jones, Daniel T y Lean Production Simplified del autor Pascal Dennis; sumado al conocimiento del proceso de fabricación de spools, los defectos que se presentan en los mismos y el entorno, se ha

desarrollado la siguiente metodología³⁷ de aplicación de la herramienta kanban para la empresa metalmecánica, cuyas etapas son las siguientes:

I. Capacitar al personal involucrado en los principios, características y beneficios fundamentales de la herramienta kanban.

La capacitación debe cumplir las siguientes pautas:

- Objetivo General: Facilitar la identificación y comprensión de los conceptos básicos de la herramienta kanban, propiciando la transferencia de estos conocimientos al puesto de trabajo.
- Objetivos Específicos:
 1. Conocer qué es kanban.
 2. Identificar el objetivo y las características de kanban.
 3. Identificar las seis reglas de kanban.
 4. Conocer los beneficios de la herramienta con su aplicación.
- Metodología: Respecto a la metodología a seguir, se plantea dos etapas:
 1. Documento Previo: Para el desarrollo de la capacitación es necesario que los asistentes estudien con anterioridad un documento que incluirá: kanban, ¿Qué es?, objetivos, características, las seis reglas kanban y beneficios.
 2. Capacitación: Se realizará a manera de taller, donde con actividades aplicables al proceso de producción de spools se expliquen los conceptos de kanban.

II. Verificar prerequisites e identificar restricciones.

a. Verificación de prerequisites del sistema de producción para implementar un sistema kanban.

Debe considerar si el proceso de producción y el funcionamiento de la organización cumplen los prerequisites enunciados a continuación:

- Producción repetitiva (Los spools siguen el mismo proceso de fabricación).
- Sistema de producción de lotes pequeños (la producción se da por lotes de acuerdo a la lista de pedido).

b. Identificación de restricciones

- Políticas de entrega: La empresa metalmecánica tiene establecido como tiempo de entrega tres meses máximos para el total de spools (estipulados por el

³⁷ También se tomaron referencias del libro: Dailey W, Kenneth. The Lean Manufacture pocket handbook. Publishing CO.2003.

cliente), teniendo en cuenta de que un spool debe estar listo como máximo en una semana. Los tiempos de entrega son fundamentales para la competitividad en el mercado, ya que este nivel de servicio es una de las ventajas competitivas de la organización en el sector en el cual se desarrolla, razón por la cual debe conservarse.

- Subprocesos que requieren funcionar bajo lotes secuenciales³⁸: En muchas plantas existen máquinas o equipos que requieren que sus operaciones se realicen por lotes para producir un componente dado; lo cual hace, que al desarrollar un sistema kanban existan dos alternativas:
 1. Establecer supermercados entre esas operaciones.
 2. Tratar las operaciones como si fuesen una sola operación de flujo continuo y al final disponer de un supermercado.

La decisión de cuál de las dos alternativas es más preciso manejar para el caso de la producción de spools, se define posteriormente en la etapa número VI. Sin embargo, en esta etapa es necesario identificar la existencia de algún proceso, máquinas o equipos que requieran que su operación se realice por lotes, para producir un componente dado. Analizando el proceso de fabricación de spools el proceso que requiere funcionar bajo lotes es:

Corte de tubos: El proceso de corte de tubos no permite obtener una medida de corte únicamente; por requisitos de funcionamiento de la máquina cortadora. Dichos requisitos son:

- El tubo que entra al proceso se debe montar sobre polines que giran activados por un motor.
- La máquina no puede realizar un buen corte si es que la longitud del tubo que se monta, no es lo suficientemente largo para que no vibre cuando se realice el corte. Es por ello que al montar un tubo en la máquina, necesariamente se deben realizar varios cortes.

III. Establecer el alcance de la herramienta.

Teniendo como fundamento el conocimiento del proceso y la identificación defectos de calidad desarrollada en el capítulo cuarto, se tiene que las fases del proceso de producción incluidas en el sistema kanban son: Habilitado (Corte), armado y soldadura.

³⁸ Henderson, Bruce A y Larco, Jorge. Lean transformation: How to change your business into a lean enterprise

Por otro lado, teniendo en cuenta que las materias primas fundamentales para la elaboración de los spools son importadas; es por el momento poco viable incluir a los proveedores en el sistema, pues en este momento no se cuenta con la infraestructura tecnológica, de transporte y física, para poder incorporar a los proveedores en el sistema kanban. Esta vinculación al sistema de proveedores sería una de las metas o mejoramientos del sistema a largo plazo.

IV. Redactar el objetivo de la herramienta en términos de los procesos para la fabricación de spools.

El objetivo de la herramienta kanban sería el siguiente:

“Integrar los procesos de Corte, Armado y soldadura de tal forma que los materiales lleguen en el tiempo y en la cantidad requerida a cada etapa del proceso de elaboración de spools”. Además, se debe identificar cual de los beneficios que ofrece la herramienta, los siguientes serían los primeros beneficios (Tabla 18. Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de kanban) a obtener en cada proceso:

Tabla 18. Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de kanban

PROCESO	BENEFICIO
Corte	Realizar el cubrimiento de tubos cortados solicitados por armado y mantener los materiales identificados para evitar errores de referencia del producto
Armado	Realizar el cubrimiento de los pools armados solicitados por soldadura y contar con todos las herramientas y accesorios para iniciar la operación
Soldadura	Realizar el cubrimiento de los spools solicitados por pintura y contar con las herramientas para la operación

V. Tareas para el cumplimiento las seis reglas kanban.

Las tareas que son necesarias para el cumplimiento de cada una de las seis reglas kanban (Ver Anexo 18. Las seis reglas de kanban) son:

Tareas regla 1: no se debe mandar producto defectuoso a los procesos subsecuentes

- El proceso que ha producido un spool defectuoso, lo puede descubrir inmediatamente. El problema descubierto se debe divulgar a todo el personal implicado, no se debe permitir la recurrencia.
- Si se encuentra un defecto, se deben tomar medidas antes que todo, para que este no vuelva a ocurrir.

Tareas Regla 2: Los procesos subsecuentes requerirán solo lo que es necesario

- No se debe requerir material sin una tarjeta Kanban.
- Una etiqueta de kanban debe siempre acompañar a cada componente.

- Ya no se suplicará a los procesos subsecuentes, sino que los procesos subsecuentes pedirán a los procesos anteriores la cantidad necesaria y en el momento adecuado.
- Enviar únicamente la cantidad solicitada en el kanban.

Tareas Regla 3: Producir solamente la cantidad exacta requerida

- No producir más que el número de kanbanes.
- Producir en la secuencia en la que los kanbanes son recibidos (en orden).

Tareas Regla 4: Balancear la producción

- Mantener al equipo y a los trabajadores de tal manera que puedan producir materiales en el momento necesario y en la cantidad necesaria.

Tareas Regla 5: Kanban es un medio para evitar especulaciones

- El proceso subsecuente no puede preguntarle al proceso anterior si podría empezar el siguiente lote de spools y/o tubos un poco más temprano.
- Los procesos solo pueden enviar la información contenida en las tarjetas kanban.

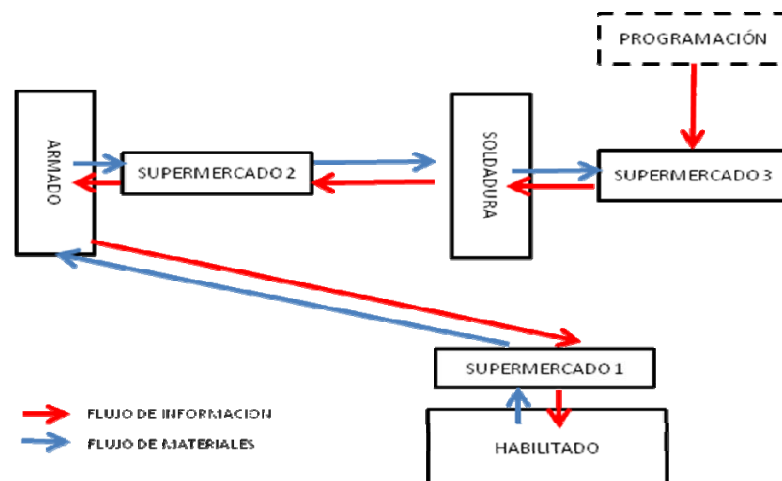
Tareas Regla 6: Estabilizar y racionalizar el proceso.

- Cumplir siempre las cinco reglas anteriores.

VI. Realizar un diagrama que esquematice el funcionamiento de la herramienta kanban

La representación actual de los flujos en la producción de spools, se encuentra en el Anexo 19. Situación actual de los flujos de información y material. De manera consecutiva se elabora el diagrama (Ver Figura 9. Flujos de información y material utilizando kanban) que muestra el flujo de materiales y de información en el proceso de fabricación utilizando la herramienta kanban. De acuerdo a kanban la representación es la siguiente:

Figura 9. Flujos de información y material utilizando kanban



Elaboración propia

Los supermercados son áreas cercanas al área de operación donde las piezas serán administradas mediante los kanban.

VII. Seleccionar el tipo de Kanban a utilizar en las diferentes etapas del proceso.

El tipo de kanban a utilizar se elige de acuerdo al tipo de instrucción que el proceso subsecuente envíe al proceso anterior. Si el proceso anterior envía una señal para obtener material se utiliza un kanban de material; mientras que si el proceso anterior lo que desea enviar es una señal de iniciar la producción se emplea un kanban de producción. Para efectos prácticos de la representación de las etiquetas kanban se define lo siguiente:

- Kanban de producción: será identificado como P Kanban.
- Kanban señalador o de material: será identificado como T Kanban.

Para diferenciar los dos tipos de kanban se presenta el siguiente ejemplo:

Entre el armado y el supermercado 2 la situación es que armado requiere un tubo cortado y biselado para realizar la operación respectiva. Entonces envía una señal de material al supermercado 1, el cual no produce nada, solo examina si tiene el tubo cortado o no; por lo cual se utiliza un T kanban. En caso de no tener el tubo, el supermercado 1 envía una señal de corte al área de habilitado, que verifica si tiene el tubo o no; y en tal caso, es el encargado de iniciar la producción del corte del tubo, por lo cual se le envía un P kanban.

Los tipos de kanban a emplear entre las etapas del proceso de producción se encuentran en el Anexo 20. Listado de Tipos de Kanban entre los procesos.

VIII. Diseñar las etiquetas Kanban.

a. La información identificada como necesaria en las etiquetas es:

- Nombre / Número de parte del spool
- Cantidad requerida / Unidad de medida
- Si es medidas especiales o estándar
- Dónde debe ser almacenado cuando sea terminado.
- Secuencia de ensamble / producción del producto

b. El prototipo de las tarjetas Kanban es la siguiente:

Figura 10. Kanban de Producción o P Kanban

Descripción del producto					Proceso
Accesorios					
Schedule	Estandar		Especial		
Cantidad			Unidad de medida		
Área de almacenamiento					
Área de la entrega				Tarjeta #	

Figura 11. Kanban de Material o T kanban

Descripción del producto				
Accesorios				Proceso Predecesor
Schedule	Estandar		Especial	
Estante de almacenamiento				Proceso Subsecuente
Tarjeta #				

- c. Con los prototipos previamente elaborados se debe de reunir con los empleados con el fin de encontrar algún tipo de información omitida incluirla en la etiqueta y realizar la verificación nuevamente.

IX. Entrenar al personal en lo referente a su rol en el funcionamiento de la herramienta kanban.

Como en la primera etapa el personal tiene conocimiento acerca de la herramienta y ha estado haciendo parte del desarrollo de las etapas anteriores, sólo es necesario puntualizar funciones de acuerdo a los puestos de trabajo en el sistema de producción.

X. Realizar pruebas piloto del funcionamiento de la herramienta:

Se deben realizar pruebas para asegurar que el funcionamiento de kanban es adecuado para iniciar, pues a medida que se va aplicando surgen las mejoras. Se debe proporcionar alrededor de una semana para que por grupos de trabajo se reúnan, preparen y documenten lo siguiente:

- Resultados obtenidos en la estación de trabajo (propia).
- Inconvenientes presentados en su área de trabajo y los observados en las demás áreas.
- Propuestas de solución de inconvenientes o de mejora si las hay.

XI. Realizar los ajustes necesarios para asegurar la implementación

Basados en las conclusiones consolidadas de las pruebas piloto, realizadas en la etapa 10, efectuar los ajustes que se evaluaron o determinaron como necesarios en las etapas correspondientes del proceso.

XII. Poner en funcionamiento Kanban

Luego de obtener resultados satisfactorios con los ajustes realizados y con las pruebas piloto evaluadas, se debe iniciar el funcionamiento de la herramienta en todas las áreas del proceso de producción, establecidas en la etapa III.

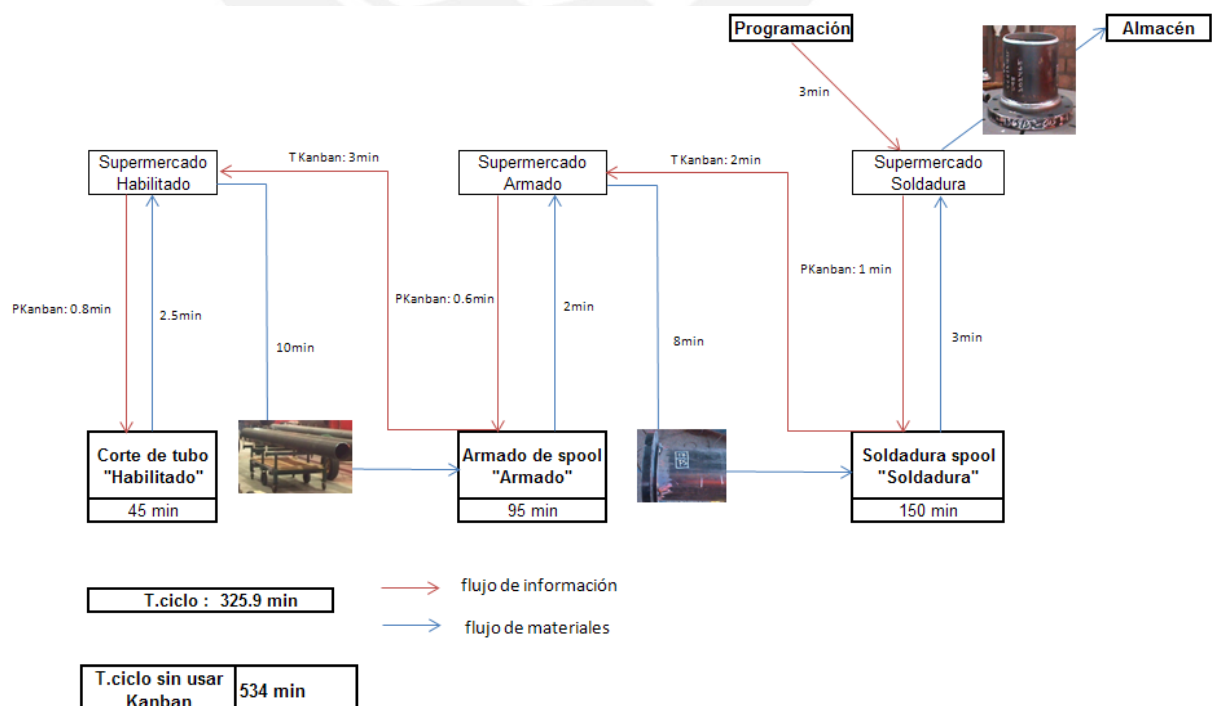
XIII. Revisar y monitorear los logros alcanzados

El monitoreo y presentación de resultados debe hacerse por etapas en el proceso de producción: corte, armado y soldadura. Los grupos de trabajo de cada etapa deben tomar en cuenta las pautas siguientes:

- Determinar si el beneficio planteado en la etapa IV:
 - a. Está en proceso de lograrse, escenario en el cual se deben identificar los factores claves en los cuales enfocar los esfuerzos para obtener la meta trazada.
 - b. Se ha logrado, situación en la cual debe aumentarse la exigencia y formular una nueva meta o beneficio a obtener.
- Construir dos indicadores que permitan controlar el grado de avance de kanban. Pueden ser referentes a niveles de inventario, defectos en los productos, tiempos de fabricación, cumplimiento de las reglas, efectividad del entrenamiento y a los aspectos que el grupo de trabajo considere que aportan al mejoramiento de la herramienta.
- Divulgar entre todos los grupos de trabajo los logros alcanzados e ir generando las propuestas de mejoramiento que surgirán a partir de la revisión constante.

Como método de prueba se realiza una simulación de la producción del spools de mayor frecuencia de producción (Ver Figura 12. Simulación Kanban para la producción del spool (tubo+brida)), además, se toma como indicador el tiempo de ciclo para obtener el spool soldado. De los resultados podemos observar que el tiempo de ciclo disminuye en 40% si se utiliza las tarjetas Kanban.

Figura 12. Simulación Kanban para la producción del spool (tubo+brida)



6.1.2.2.2. Impacto de Kanban sobre los defectos

Teniendo presente los defectos seleccionados como prioritarios, la metodología desarrollada para la aplicación de la herramienta Kanban impacta directamente los defectos:

a) Traslado de accesorios: El traslado de accesorios hacia la zona de armado es realizado por un maniobrista que en muchas ocasiones no se abastece para enviar los accesorios o los envía de forma errónea al puesto de armado que lo requirió. Es decir, el maniobrista no reconoce explícitamente el accesorio que se solicita en armado, por lo que demora en reconocerlos. Esto conlleva a que se incremente los tiempos de entrega a los puestos de armado y a que los armadores mismos realicen el traslado a falta de disponibilidad. Con la herramienta kanban, cada accesorio estará identificada a lo largo del proceso, lo cual permitirá que en el momento de requerirse uno, el maniobrista reconozca inmediatamente el tipo de accesorio que requiere el puesto de armado. De la toma de tiempos para la simulación del uso del Kanban, se observó que el tiempo promedio en la entrega de accesorios a la operación armado era de 10 min, mientras que sin usar Kanban, el tiempo promedio registrado fue de 18 min, lo cual muestra una reducción del 44% en la entrega de los accesorios.

b) Armado de spools: Los caldereros almacenan los spools armados en cualquier lugar del puesto de trabajo de armado (no existe un lugar específico en el área), además, la información de producción es suministrada al proceso de armado de manera verbal por el proceso de pase de raíz; lo cual genera especulaciones y errores en la comunicación, que conducen a la presencia de defectos en el armado de spools.

A través de la información contenida en las tarjetas kanban, al proceso de armado llegará la información exacta de la referencia del spool a producir, sin tener que esperar la comunicación verbal del proceso subsecuente que es el pase de raíz.

6.1.2.3. Justo a tiempo

A partir de su aplicación en empresas norteamericanas, diferentes estrategias para implementarla se han desarrollado.

6.1.2.3.1. Implementación de Justo a Tiempo

A continuación se muestra una estrategia de aplicación del Justo a Tiempo, que propone cinco fases³⁹

Fase 1: Cómo poner el sistema en marcha La aplicación JIT exige un cambio en la actitud en toda la empresa. Para ello será necesario dar los siguientes pasos:

³⁹ BROCKA Bruce; BROCKA Suzanne. Quality Management. Agosto 1994.

comprensión básica, compromiso, decisión si/no para poner en práctica el JIT, selección del equipo del proyecto para JIT, identificación de la planta piloto.

Fase 2: Mentalización, clave del éxito: Esta fase implica la educación de todo el personal. Un programa de educación debe conseguir dos objetivos:

- Debe proporcionar una comprensión de la filosofía del JIT y su aplicación en la industria.
- El programa debe estructurarse de tal forma que los empleados empiecen a aplicar la filosofía JIT en su propio trabajo.

Fase 3: Mejorar los procesos: La tercera fase se refiere a cambios físicos del proceso de fabricación que mejorarán el flujo de trabajo. Los cambios de proceso abarcan tres puntos principales:

- Reducir el tiempo de preparación de las máquinas.
- Mantenimiento preventivo (mantenimientos rutinario del operario)
- Cambiar a líneas de flujo.

Fase 4: Mejoras en el control: El principio de la búsqueda de la simplicidad proporciona la base del esfuerzo por mejorar el mecanismo de control de fabricación, en base a ello, se puede encontrar:

- Control local en vez de centralizado.
- Control estadístico del proceso.
- Calidad en el origen (autocontrol, programas de sugerencias, etc.).

Fase 5: Relación cliente – proveedor: Para poder continuar el proceso de mejora se debe integrar a los proveedores externos y a los clientes externos.

Teniendo como fundamento las cinco fases anteriores y principalmente los aportes de Edward J. Hay formulados en el texto Just in Time; se ha desarrollado para la empresa metalmecánica la siguiente metodología de aplicación de la herramienta Justo a tiempo:

I. Educar al todo personal involucrado en los principios y características primordiales de Justo a tiempo.

En esta fase se debe comprender la filosofía del JIT y su horizonte de aplicación en la empresa metalmecánica. Aquí se inicia la aplicación de uno de los tres elementos de JIT que es la intervención de los trabajadores.

La capacitación⁴⁰ debe comprender los siguientes puntos:

⁴⁰ No se debe confundir esta etapa de la educación con la formación. Educación significa ofrecer una visión más amplia, describir cómo encajan los elementos entre sí. La formación, en cambio, consiste en proporcionar un conocimiento detallado de un aspecto determinado.

- Objetivo General: Proporcionar los conceptos básicos de la filosofía JIT y la forma en que podría aplicarse en un proceso de manufactura.
- Objetivos Específicos. Entender que es JIT, identificar el objetivo y los elementos de JIT, además, conocer las características y los beneficios del mismo.
- Metodología: La capacitación se desarrolla en dos etapas:
 1. Documento Previo: Un escrito que contenga información referente a JIT: ¿Qué es?, objetivos, características y beneficios.
 2. Capacitación: Se lleva a cabo como taller práctico, en el cual ejemplificando situaciones actuales de la empresa se identifiquen los conceptos de JIT.

II. Verificar prerequisites e identificar restricciones

a. Verificación de prerequisites: Se debe formar una idea detallada y clara de JIT con el fin de generar tres escenarios a futuro de la organización, los cuales son:

- Visualizar como sería el proceso de producción físicamente: el cual consiste en formular una idea de cómo debería ser la empresa dentro de 3 años en lo referente a distribución de planta física y al flujo de los materiales por los procesos de compra, fabricación y distribución.
- Una visión del clima organizacional: se trata de generar las directrices que determinaran cómo tendrá que ser la cultura de la organización para que JIT se haga un proceso exitoso.
- Una visión del mercado: se apoya en visualizar las posibles oportunidades en el mercado para adelantarse a la competencia, las cuales consisten entregas más rápidas, mejor servicio al cliente, spools mejorados, menor precio y mayor calidad.

A partir de los tres escenarios anteriores se debe crear una estructura para liderar el desarrollo de la herramienta. La estructura en lo posible debe contar con: un comité que dirija, formule y mida resultados; un facilitador cuya función primordial es garantizar que el esfuerzo inicial siga adelante y se alcancen los objetivos de corto y largo plazo; grupos de trabajo encargados de las pruebas piloto, los cuales contarán con un líder de equipo, facultado para comunicar los avances del grupo al comité.

b. Identificación de restricciones: Se puede considerar que la implementación tomará tiempo y que el avance de la misma depende de la transformación en la forma de trabajar.

III. Establecer el alcance de la herramienta.

Según el análisis hecho en el punto 3, JIT debe ser aplicado en las áreas de: Habilitado, Calderería, Soldadura y Pintura. Es importante aclarar que para empezar la aplicación de JIT no estarían incluidos las actividades de distribución, ni los proveedores. Estos serían mejoras al sistema una vez que los resultados al interior sean tangibles.

IV. Redactar el objetivo de la herramienta en términos de los procesos de la empresa metalmecánica y asociar cada proceso con el beneficio principal que se desea conseguir en dicho punto del proceso.

El objetivo del JIT ligado a los procesos de la empresa metalmecánica sería el siguiente:

“Eliminar o reducir todas aquellas actividades que agregan costo al producto pero que son imperceptibles para un cliente, es decir no añaden valor”.

Los beneficios a conseguir en cada proceso se muestran en la Tabla 19. Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de justo a tiempo:

Tabla 19. Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de justo a tiempo

Proceso	Beneficio principal
Habilitado	No producir más tubos cortados del necesario o antes de lo necesario
Calderería	No generar exceso de inventario de spools armado ni accesorios
Soldadura	Recibir los spools armados en el momento de iniciar el pase de raíz
Pintura	Reducir las pérdidas de consumibles y/o pintura

V. Realizar un análisis de valor agregado.

Para realizar un análisis de valor agregado, según Edward J. Hay, se debe recorrer el área de producción. Se selecciona un spool y se le hace seguimiento a lo largo de todo el proceso, anotando cada actividad que se realiza con la pieza. Para recopilar la información se utiliza el siguiente esquema (Ver Tabla 20. Esquema para análisis de valor agregado).

Tabla 20. Esquema para análisis de valor agregado

Actividad No.	Descripción	Agrega valor	
		SI	NO

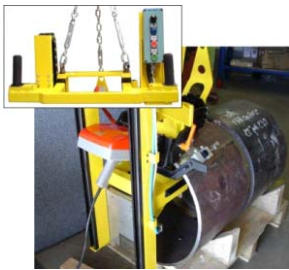


Posterior al recorrido se debe contar cuantas actividades del total realizado agregan valor, lo cual le dará una idea de que tantas mudas hay en el proceso de producción.

Después de hecho el análisis de valor agregado, a través de los grupos de trabajo es necesario generar alternativas para eliminar las actividades que no agregan valor.

Para crear las alternativas, se recomienda utilizar una lista de chequeo con tres

enfoques principales, un ejemplo de la lista mencionada se encuentra en el Anexo 21. Lista de chequeo para actividades que no agregan valor. Dentro de las alternativas más interesantes de mejora que se obtuvo después de realizar el análisis de valor agregado a la producción de spool, se menciona en la Tabla 21. Actividades que no agregan valor - alternativas de mejora.

Tabla 21. Actividades que no agregan valor - alternativas de mejora

Actividad	Descripción	Alternativa de mejora	Mejora
Ajustar los caballetes para centrar el tubo y accesorio que va a ser apuntalado (armado)	Toma en promedio 40 min	Utilizar una machina que permita la nivelación más rápida 	Toma en promedio 10 min
Biselado de tubos con diámetro menor a 6"	Toma en promedio 15 min	Utilizar dos cuchillas en la biseladora de forma que el desbaste con inclinación sea más rápida 	Toma en promedio 6 min
El corte de tubo con inclinación para obtener el tubo biselado, para diámetros mayores a 6"	Como el acabado no es bueno, se le realiza varias pasadas con el esmeril, lo cual genera tiempo para el armador	Implementar una piedra lijadora con motor para darle el acabdo inmediatamente después del cortado de tubos 	Se eliminó la actividad de esmerilado hecho por el armador

Elaboración propia

VI. Introducir el concepto de Calidad en la fuente

Este concepto consiste en hacer las cosas bien desde la primera vez. Para aplicar el concepto de calidad en la fuente, se presenta la metodología completa de implementación de las herramientas Jidoka y Poka Yoke.

VII. Sistema de jalar

JIT requiere funcionar bajo un sistema de jalar, de tal forma que cada operación, comenzando por la última del proceso hasta la primera del mismo, va jalando el producto necesario de la operación anterior solamente a medida que lo necesite. El desarrollo de cómo implementar un sistema de jalar se presenta en la herramienta Kanban.

VIII. Control Visual

Para permitir la mejora del flujo de trabajo a través del sistema de fabricación de spools, se propone utilizar herramientas de control visual las cuales asisten para el mantenimiento las estaciones de trabajo en condiciones adecuadas para el proceso, además de permitir la identificación fácil de situaciones anormales. Para implementar el control visual se es preciso remitirse a la metodología desarrollada para las herramientas 5S y Andón.

IX. Desarrollar la relación cliente - proveedor.

Se debe empezar a construir una relación mutuamente benéfica con los proveedores, para lo cual se deben madurar los siguientes pasos básicos:

- Identificar los proveedores que impactan directamente la calidad del producto
- Iniciar un contacto más cercano con los proveedores, para transmitirles cuál es el papel que entrarían a desempeñar en el sistema de manufactura esbelta y los beneficios que se lograría trabajando juntos.
- Construir criterios objetivos para la selección de proveedores: A parte del precio deben existir otros criterios como puntualidad, flexibilidad, capacidad, entre otros.
- Realizar seguimiento y evaluar los proveedores actuales como mínimo anualmente.
- Retroalimentar a los proveedores los resultados obtenidos en los seguimientos

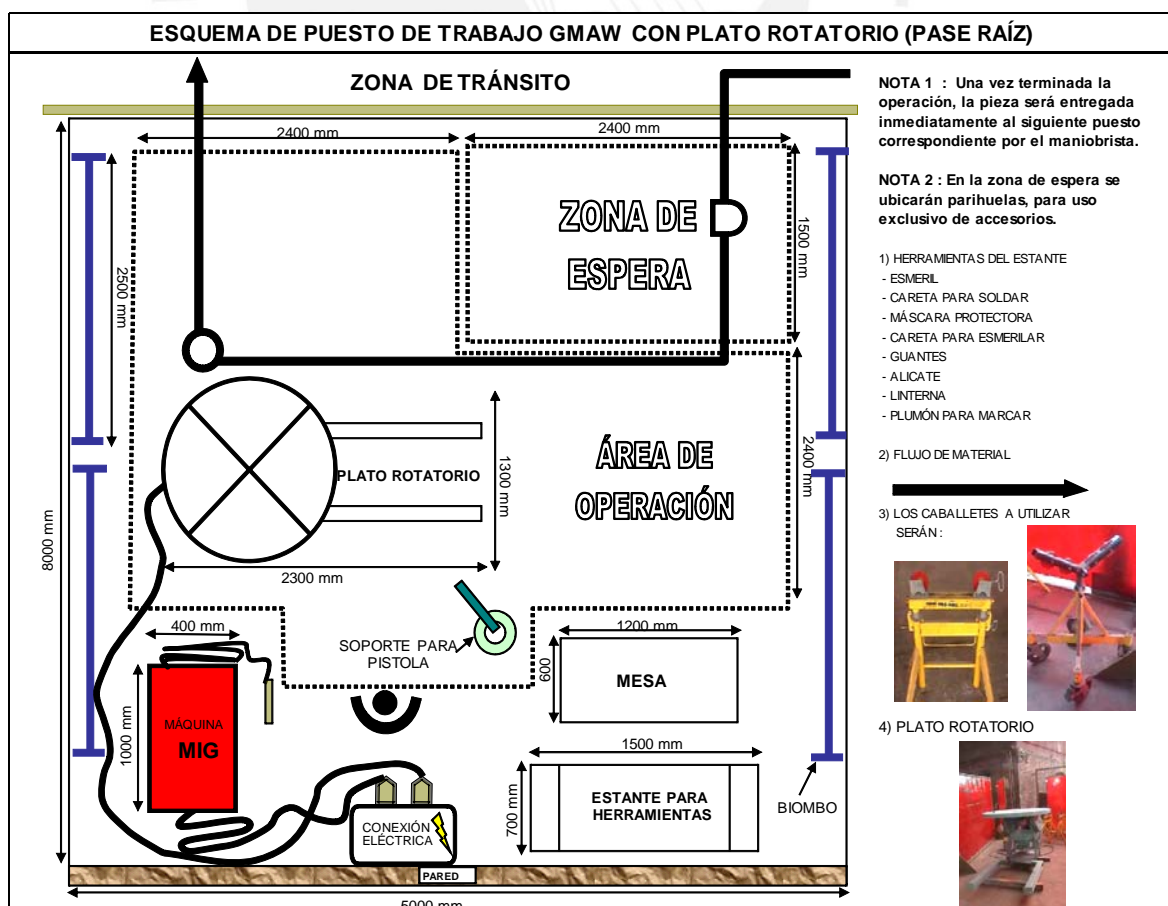
6.1.2.3.2. Impacto de justo a tiempo sobre los defectos

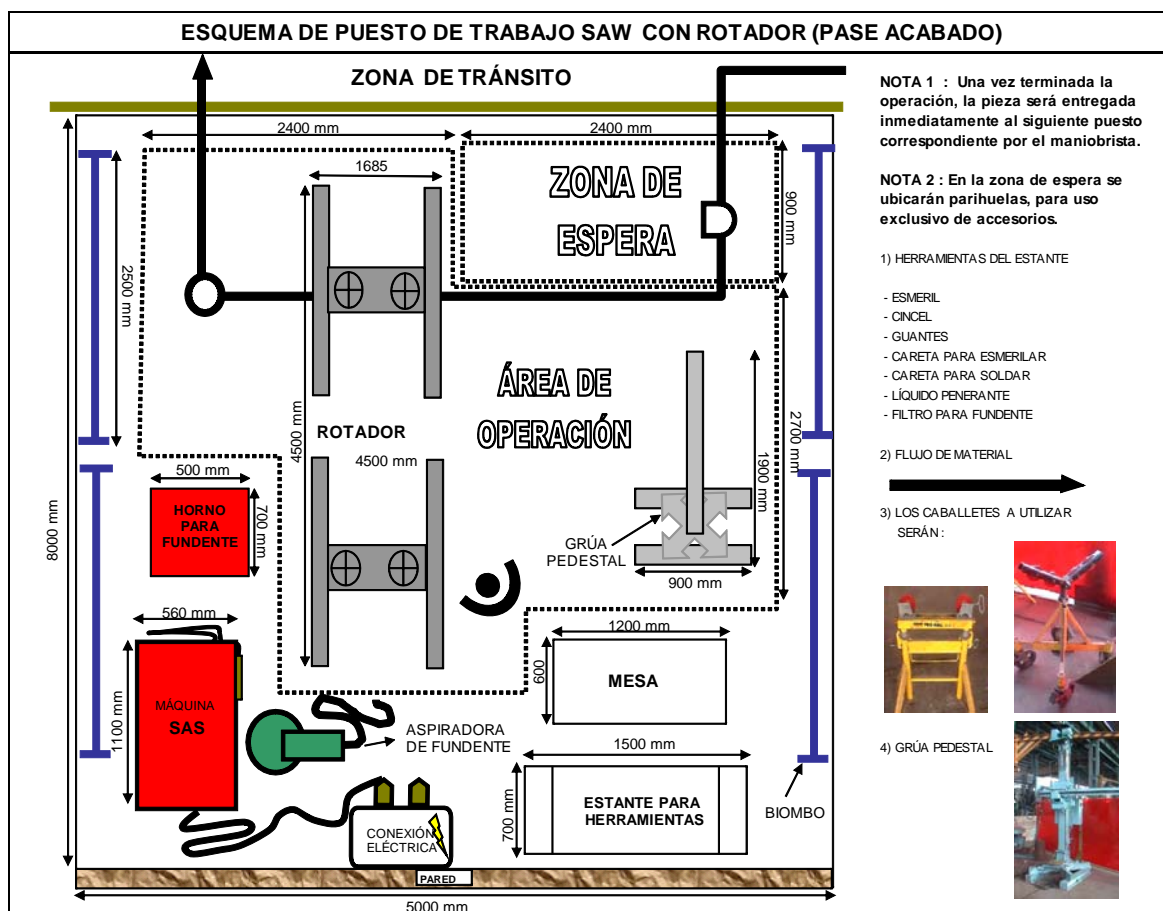
- Traslado de spools (pase de raíz - pase de acabado): El pase de acabado en un spool es el paso final que se le da a la pieza para obtener la pieza según especificaciones del plano. La información de producción de los pases de acabado, es suministrada por el proceso de pase de raíz, sin embargo, se realizan operaciones de raíz que no han sido solicitados por el proceso de acabado, generando un nivel elevado de inventario de spools con pase de raíz. Cuando ocurre esto, los spools con

pase de raíz son almacenados en áreas no adecuadas (por exigencias de espacio) dentro de la estación de trabajo del pase de raíz; lo cual incrementa el riesgo de deterioro, ya que al no ser requerida ni poderse trabajar, esperan un largo tiempo expuestos a golpes, abolladuras y deterioro de soldadura de raíz.

Con la aplicación de la herramienta Justo a tiempo y utilizando Kanban, al proceso de pase de raíz llegarán los requerimientos de spools a producir, de tal modo, que los spools sean procesados para ser utilizadas consecutivamente por el proceso de pase de acabado. Esto originaría que no se supere la capacidad del proceso de pase de acabado y los spools con pase de raíz no estarán expuestas a almacenamientos inapropiados, ni prolongados donde incurren en un alto riesgo de sufrir deterioros, que por las características del componente (spools con pase de raíz) es fundamental que sea de buena calidad para poder realizar el relleno adecuado de la junta y obtener el spool requerido. A continuación se presenta el puesto de trabajo de pase de raíz y pase de acabado que se implementó para obtener un puesto de trabajo más ordenado, limpio y delimitado para colocar los spools que tienen pase de raíz o acabado (Ver Figura 13. Puestos delimitados en soldadura (pase raíz-acabado).

Figura 13. Puestos delimitados en soldadura (pase raíz-acabado)

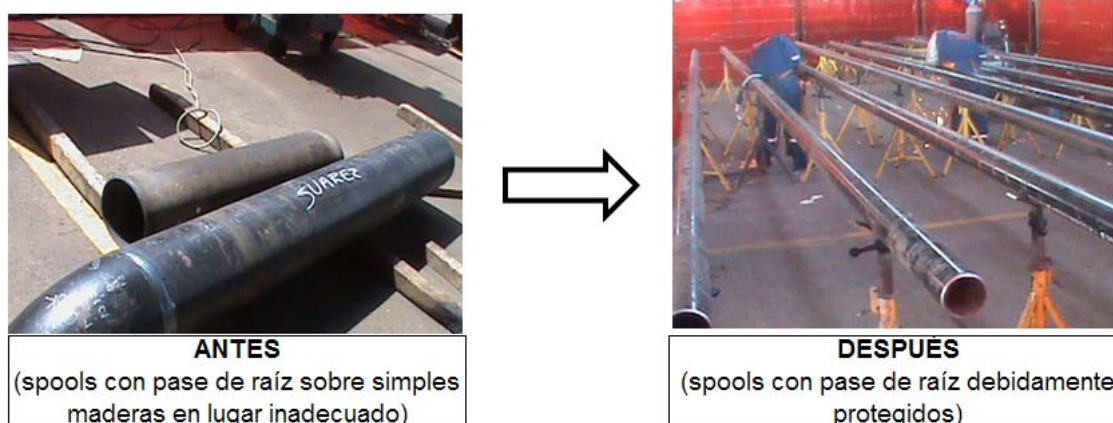




Elaboración propia

Con la implementación de estos puestos de trabajo ya no se tendría que incurrir en problemas como se muestra en la Figura 14. Comparación del almacenamiento de spools con pase de raíz.

Figura 14. Comparación del almacenamiento de spools con pase de raíz



Posterior a la implantación de estas áreas, se realizó un análisis de balanceo de cargas para determinar el número de puestos de trabajo necesario en pase de raíz y acabado, con el fin de no superar la capacidad de ambos y no se generen colas y/o

esperas que dañen a los spools con pase de raíz (Ver Tabla 22. Balanceo de cargas para determinar puestos de trabajo en soldadura).

Tabla 22. Balanceo de cargas para determinar puestos de trabajo en soldadura

Soldadura	A: Pase de raíz
	B: Pase de acabado

Un spool puede contener hasta 4 juntas

Hrs / semana : 110hrs (incluye hrs.extras)

300.0 juntas/hr

5.0 juntas/min

Operación	T.Operación (min)	Factor eficiencia Operario	Factor eficiencia equipo soldar	T.Austado (min)	Factor por rehacer	Demanda semanal prom.(juntas)	Prod.por puesto (juntas)	Cadencia (min/unid)	Juntas a trabajar	Puestos requeridos
A	35	0.98	0.9	39.7	1.02	30000	30600	4.9	8.1	3
B	45	0.98	0.9	51.0	1.03	30000	30900	4.9	10.5	3
	80									

Del balanceo de cargas se puede observar que son necesarios tres puestos de pase de raíz y tres puestos de pase de acabado.

6.1.2.4. Jidoka

Jidoka es definido por Toyota como “automatización con pensamiento humano”, lo cual implica la presencia de trabajadores inteligentes y maquinas que identifiquen errores y tomen precauciones de forma rápida.

6.1.2.4.1. Implementación De Jidoka

Partiendo de los aportes encontrados en el libro Lean Production Simplified se desarrolla una adaptación metodológica para la empresa metalmecánica, que se muestra a continuación:

I. Capacitar a todas las personas involucradas en los principios básicos de Jidoka

La capacitación en Jidoka debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Objetivo General de la Capacitación: Suministrar los fundamentos de Jidoka como una herramienta utilizada en la detección y corrección anomalías y defectos de la producción
- Objetivos Específicos de la Capacitación: Entender el significado de Jidoka, identificar los objetivos y características de Jidoka, así como los beneficios del propiciamiento de su aplicación en la línea de spools.
- Metodología: La capacitación se desarrolla en dos etapas de la siguiente forma:
 1. Documento previo: Un documento que incluye: Jidoka: ¿Qué es?, objetivos, características y beneficios.

2. Metodología: Se realizará una sesión teórico-práctica donde a partir de una actividad desarrollada en base a uno de los defectos más frecuentes en la línea de producción se desarrollen los conceptos y fundamentos generales de Jidoka.

II. Verificar pre-requisitos e identificar restricciones del proceso de producción para la aplicación de Jidoka en los diferentes puestos de trabajo y áreas de la planta de producción.

a. Verificar Pre-requisitos: El pre-requisito que se debe cumplir antes de aplicar Jidoka es que la gerencia de la empresa metalmecánica debe confiar en todos sus trabajadores y en el criterio que estos tienen para tomar decisiones directamente relacionadas con la calidad del spool, así como el cumplimiento de especificaciones de este. Es necesario asegurar esta condición debido a que si no se da autonomía a los trabajadores, la aplicación de Jidoka puede no facilitar la verificación eficiente del 100% de las piezas, sino convertirse en un obstáculo para el desempeño de la línea de producción.

b. Identificación de restricciones: En la situación actual de la empresa metalmecánica no se detecta ninguna restricción en la aplicación de Jidoka.

III. Establecer el alcance de la herramienta

De acuerdo con la asignación de herramientas que se realizó en el capítulo cuarto para las condiciones actuales del proceso de fabricación de spools se recomienda iniciar la aplicación de Jidoka en las áreas de: Habilitado, armado y soldadura.

IV. Redactar el objetivo de Jidoka en términos de los procesos de la empresa metalmecánica y asociar cada proceso con el beneficio principal que se desea obtener por medio de la aplicación de la herramienta

El objetivo general de Jidoka expresado para la empresa metalmecánica podría presentarse de la siguiente forma:

“Verificar la calidad de todos los productos de la metalmecánica, a partir de la transformación de materiales realizada en cada uno de los puestos de trabajo, asegurando la calidad en el 100% de los spools gracias al compromiso que tienen los trabajadores en la prevención de defectos en la línea de producción.”

De acuerdo a las áreas seleccionadas como prioritarias, los beneficios principales se muestran en la Tabla 23. Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de jidoka:

Tabla 23. Beneficio obtenido en puntos críticos con la aplicación de jidoka

ÁREA	BENEFICIO PRINCIPAL
Habilitado	Aumentar la productividad
Armado	Reducir tiempos de fabricación debido a la integración de la inspección con la línea de producción, así como inventarios
Soldadura	Eliminar necesidad de inspectores de calidad e inspección del 100% de los spools finales

V. Definir con claridad las especificaciones que debe cumplir cada spool elaborado por la empresa.

Las especificaciones de cada producto deben ser establecidas por las directivas de la empresa de acuerdo con la experiencia y necesidades y requerimientos de los clientes de los spools. En la Tabla 24. Tabla de tolerancias para procesos de corte, habilitado y pase de raíz, se puede apreciar las tolerancias que se permite en cada proceso. Las especificaciones se muestran en los planos y varían de acuerdo al tipo de spool.

Tabla 24. Tabla de tolerancias para procesos de corte, habilitado y pase de raíz

TOLERANCIA LINEAL	
$\varnothing \leq 10"$	+/- 3 mm
$12" \leq \varnothing \leq 24"$	+/- 5 mm
$24" < \varnothing \leq 36"$	+/- 6 mm
$36" < \varnothing \leq 48"$	+/- 8 mm
$48" < \varnothing \leq 60"$	+/- 10 mm

VI. Asegurar que cada miembro del equipo tenga claras las especificaciones definidas y las conozca, independientemente del lugar que ocupe en el proceso de producción. Después de tener definidas de forma clara las especificaciones, es necesario realizar un proceso de divulgación a todas las personas involucradas en el proceso productivo.

VII. Definición de especificaciones relacionadas con cada área y las respectivas estaciones de trabajo que la conforman.

Se debe establecer claramente el impacto de lo que se hace en cada puesto de trabajo en el cumplimiento de las especificaciones. En este punto deben quedar establecidas las especificaciones relevantes para cada área de trabajo (Ver Tabla 25. Áreas responsables del cumplimiento de las especificaciones) y los puestos que conforman cada una de estas.

Tabla 25. Áreas responsables del cumplimiento de las especificaciones

ESPECIFICACIONES	ÁREA RESPONSABLE
Dimensiones del tubo	Habilitado

Tipos y espacios entre juntas	Armado
Cordón de soldadura uniforme y correcta	Soldadura
Área lateral pintada	Pintura

VIII. Definición de estándares del proceso de producción

A parte de los parámetros de lineales que se controlarán realizando mediciones constantes después de cada operación, se ha definido el parámetro de temperatura entre pasadas y la temperatura de precalentamiento en la operación de soldadura como estándares que controlados significará una buena soldabilidad, la temperatura entre pasada se ha fijado como máximo en 140 °C y la de precalentamiento en 100°C, para medir dichos parámetros se utiliza un medidor de temperatura laser como se muestra a continuación en la Figura 15. Medidor de temperatura laser para operación de soldadura.

Figura 15. Medidor de temperatura laser para operación de soldadura



Además también se incluye como parámetros a controlar la humedad a la cual se realiza las labores de soldeo y armado y la velocidad del viento en habilitado. Si la humedad esta fuera del rango permitido (60%) se activa el deshumificador en cada puesto de trabajo y si la velocidad del viento es mayor a 5m/s entonces se debe de cerrar la cámara de corte.

IX. Desarrollar un sistema, una serie de mecanismos o un procedimiento claro que facilite la detección y prevención de anomalías en la línea de producción.

Para conseguir desarrollar el sistema se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

a) Detectar la existencia de anomalías en el proceso: Las anomalías que se presentan en el proceso pueden ser detectadas de forma preventiva o correctiva. A continuación se encuentran las características de cada una de las formas en las cuales puede detectarse una anomalía del proceso de producción:

- Detección preventiva de alguna irregularidad del proceso: Se debe realizar una comparación constante entre el comportamiento de los parámetros del proceso

- Detección correctiva de una irregularidad en el proceso: En este caso se detectaron directamente defectos que ya fueron generados y que deben ser corregidos de forma inmediata para evitar que se produzcan de forma masiva spools defectuosos del mismo tipo.
- b) Parar el proceso de producción al ser detectada la existencia de una anomalía en el proceso, bien sea por la inestabilidad del proceso o por la presencia de defectos en los spools.
- c) Investigar el origen o la causa de los defectos encontrados: Se realiza un seguimiento a las condiciones y razones por las cuales el proceso se encuentra en un estado inestable, lo cual produce un spool defectuoso.
- d) Arreglar o corregir la condición que está haciendo que se presente una anomalía en el proceso que puede llegar a generar productos defectuosos, para esto se pueden tener en cuenta los mecanismos Poka Yoke que facilitan el desarrollo de soluciones con estas características.
- e) Revisar continuamente las soluciones dadas a las condiciones que generan las anomalías para asegurar que el problema ha sido corregido: Para cumplir con este punto se deben establecer uno o dos indicadores de evaluación de la solución implementada.

6.1.2.4.2. Impacto de jidoka sobre los defectos

La aplicación de la herramienta Jidoka, impacta directamente en los siguientes defectos:

- Junta apuntalada: El uso de esta herramienta permitiría una verificación en el proceso que permita detectar y corregir los apuntalados en las juntas, utilizando mecanismos y procedimientos que eviten la elaboración o flujo de productos defectuosos en el proceso. De esta forma se busca asegurar que la calidad sea controlada por el proceso mismo.
- Nivelado de juntas: Los defectos en el nivelado de juntas pueden ser causados por diversos factores entre los cuales se destacan la inadecuado estado de los posicionadores (se está implementando nuevos caballetes), los defectos en el proceso de corte por el aire presentado (se implementó una cámara protegida con extractor de humos) y las abolladuras en el tubo (se implementó una zona con protección para los tubos y accesorios nuevos).

- Irregularidad en el corte de tubos: Con la implementación de una nueva boquilla de corte y la medición de constante de los tubos cortados se consigue disminuir la irregularidad de los tubos al momento de armarlos.
- Soldadura interrumpida por el viento: Con el parámetro de velocidad del viento controlado la soldadura ya no presenta defectos en la junta con pase de raíz y acabado. A continuación en la Tabla 26. Comparación de defectos antes y después del estándar, se muestra la medición levantada durante un mes de la implementación del parámetro controlado.

Tabla 26. Comparación de defectos antes y después del estándar

	Problemas de soldeo debido al viento (mes)	
	Antes del medidor	Después del medidor
Pases raíz	8	1
Pases acabado	7	0

6.1.2.5. Poka yoke

Herramienta que permite detectar situaciones anormales antes de que estas ocurran, o parar la línea de producción cuando dichas anomalías ya han ocurrido con el propósito de evitar la generación de defectos.

6.1.2.5.1. Implementación de mecanismos poka yoke

A partir de las metodologías propuestas y tomando como referencia otros textos que hacen referencia a los mecanismos Poka Yoke como herramientas de la manufactura esbelta, se desarrollaron como pasos específicos para la aplicación en la empresa metalmecánica los siguientes:

I. Capacitar a todas las personas involucradas en los principios básicos de Poka Yoke, sus características y beneficios fundamentales.

La capacitación para la aplicación de Poka Yoke debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Objetivo General de la Capacitación: Dar a conocer Poka Yoke como mecanismos para la prevención o corrección ágil de errores
- Objetivos Específicos de la Capacitación: Entender el significado de Poka Yoke, identificar los objetivos y características de Poka Yoke.
- Metodología: La capacitación de Poka Yoke se desarrolla de la siguiente forma:
 1. Documento previo: Un documento para su estudio, donde se incluye, Poka Yoke: ¿Qué es?, objetivos, características, métodos, tipos y beneficios.

2. Capacitación en Poka Yoke: Se realizará una sesión teórico-práctico donde se desarrollaran los conceptos y conocimientos mediante la continuación del desarrollo del ejemplo desarrollado en la capacitación de Jidoka.

II. Verificar pre-requisitos e identificar restricciones del proceso de producción para la aplicación de Poka Yoke en los diferentes puestos de trabajo y áreas de la planta de producción.

a. Verificar Pre-requisitos: La aplicación de Poka Yoke requiere un desarrollo previo de Jidoka en la línea de producción ya que Poka Yoke es una herramienta de apoyo, soporte y adecuación de Jidoka a los procesos. Esto significa que Poka Yoke debe desarrollarse luego de haber dado los primeros pasos en el desarrollo de la aplicación de Jidoka.

b. Identificación de restricciones: Actualmente no existen restricciones en la aplicación de Poka Yoke a la línea de producción de spools.

III. Establecer el alcance de la herramienta

Se establecen como áreas prioritarias para iniciar la aplicación de Poka Yoke las siguientes áreas: Armado y habilitado.

IV. Redactar el objetivo de Poka Yoke en términos de los procesos de la empresa metalmecánica y asociar cada proceso con el beneficio principal que se desea obtener por medio de la aplicación de la herramienta

“Prevenir errores y defectos que pueden llegar a pasar inadvertidos a lo largo de la línea de producción de spools, permitiendo también que los defectos que lleguen a generarse resulten obvios y faciliten la realización de acciones correctivas y preventivas.”

Los beneficios principales se pueden apreciar en la Tabla 27. Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de Poka Yoke:

Tabla 27. Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de Poka Yoke

Proceso	Beneficio principal
Habilitado	Disminuir la cantidad de defectos que se generan en la línea de producción
Armado	Disminuir la cantidad de defectos que se generan en la línea de producción

V. Verificar avances realizados en la aplicación de Jidoka

Antes de iniciar con el desarrollo de los mecanismos Poka Yoke como tal, resulta necesario realizar una revisión y verificación de los pasos V, VI, VII y VIII de la aplicación de Jidoka con el propósito de asegurar que se encuentran definidas las pautas y parámetros necesarios para establecer un adecuado mecanismo Poka Yoke que facilite y apoye la detección de anomalías en la línea de producción.

VI. Definir con claridad los errores y defectos que pueden ser generados en los diferentes puntos de la línea de producción.

En este punto se pretende centrar la atención en un defecto, especificar que se está generando desde un área determinada de trabajo para a partir de esto continuar el proceso de desarrollo y elaboración de mecanismos Poka Yoke.

VII. Generar con el equipo de trabajo propuestas sobre los posibles mecanismos o ajustes a realizar para la prevención y eliminación de cada uno de los errores detectados.

Una vez que está definido con claridad el defecto o dificultad sobre la cual se va a trabajar se realiza una reunión con todos los miembros del equipo de trabajo involucrado y con personas relacionadas con el proceso aunque no sean responsables directos de las labores allí realizadas. Esta reunión busca generar todas las posibles ideas acerca de mecanismos que realizan una verificación del 100% de los spools y que por lo tanto permitan eliminar la presencia de anomalías en la línea de producción. Estas ideas propuestas deben quedar registradas y organizadas de forma clara de tal forma que puedan ser entendidas y estudiadas fácilmente una vez finalizada la reunión. Para esto se sugiere utilizar el esquema, que se presenta a continuación:

Tabla 28. Esquema para registro y organización de propuestas de mecanismos Poka Yoke

Propuesta	Descripción de la propuesta	Tipo de dispositivo utilizado (Mecánico, electrónico, electromecánico)	Método usado (Control o advertencia)	Beneficios que se lograrían con su aplicación
Propuesta 1				
Propuesta 2				
Propuesta 3				

VIII. Estudiar las propuestas generadas por los equipos para así seleccionar las que más se ajusten a las condiciones y requerimientos de la empresa

Para la evaluación que se realice de las propuestas presentadas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los mecanismos deben ser sencillos y no deben implicar un gasto excesivo para la compañía.
- El mecanismo debe desarrollarse como un componente incorporado en la línea de producción de tal forma que asegure y facilite la realización de inspecciones al 100% de partes que atraviesan la línea de producción de spools.
- El mecanismo debe estar diseñado para ser ubicado cerca del lugar donde ocurre el error para asegurar una retroalimentación rápida de los errores.

Para la cuantificación de la evaluación a realizar se propone la elaboración un esquema que puede facilitar la determinación de la mejor propuesta de acuerdo con los criterios de evaluación. Esta propuesta puede consultarse en el Anexo 22. Matriz sugerida para evaluación de propuestas de mecanismos Poka Yoke.

IX. Desarrollar (llevar a cabo) las propuestas generadas, en la medida de lo posible realizar pruebas piloto de los resultados obtenidos con las propuestas realizadas.

Una vez seleccionado la solución más adecuada se procede a implementarla dentro del proceso de producción de spools para así determinar su funcionamiento. De acuerdo con el tipo de mecanismo seleccionado se sugiere revisar la posibilidad de realizar pruebas piloto que permitan conocer el funcionamiento del mecanismo y los efectos reales de este en la reducción de defectos.

X. Realizar los ajustes necesarios a los mecanismos desarrollados.

Una vez que el mecanismo Poka Yoke ha tenido el tiempo suficiente para regular su funcionamiento de la línea de producción se revisan los aspectos que no estén funcionando de la forma esperada y se realizan los ajustes necesarios que permitan un mayor acercamiento a los resultados esperados.

XI. Verificar de forma constante el funcionamiento y los resultados obtenidos mediante el uso de los mecanismos desarrollados.

Después que los mecanismos Poka Yoke han sido adaptados y modificados para obtener los resultados esperados se elaboran uno o dos indicadores que permitan realizar una valoración periódica para conocer el funcionamiento que está teniendo el mecanismo. En este último punto se pretende lograr una revisión constante de los mecanismos desarrollados de tal forma que constantemente se logre una retroalimentación de los resultados y se detecten posibles oportunidades de mejoramiento continuo.

6.1.2.5.2. Impacto de Poka Yoke sobre los defectos

El impacto de Jidoka en los defectos prioritarios detectados sería de la siguiente forma:

- Junta Apuntalada: Utilizando un mecanismo que permita marcar los tubos que salen del área de corte con perfiles no alineados, con esto se busca lograr que un tubo o algún accesorio que no cumple las especificaciones no llegue hasta el proceso de armado para ser apuntalado, sin haber sido detectado y corregido.
- Nivelado de juntas: El mal nivelado de juntas entre un tubo y un accesorio tiene causas diversas como son: el incorrecto corte de los tubos, accesorios con abolladuras, desnivel del piso, posicionadores en mal estado, entre otros. Teniendo en cuenta dicha variedad de causas, con la elaboración de mecanismos que permitan prevenir o que faciliten la identificación de defectos en las etapas previas del armado de juntas, como es Corte, se logrará que las partes producidas sean inspeccionadas y en caso de tener defectos se identifique de manera inmediata en la misma área de elaboración, se de la retroalimentación de manera inmediata y se generen las acciones correctivas para dicha pieza y las preventivas para evitar la ocurrencia potencial.
- Irregularidad en el corte de los tubos e incumplimiento de las tolerancias de corte: Con mecanismos Poka Yoke de tipo físico o mecánico, orientados a verificar las dimensiones de los tubos, así como sus características físicas de manera rápida y sencilla, ofreciendo una alta confiabilidad como es característico en los dispositivos de este tipo; se puede asegurar que los tubos antes de ser cortados, llegaran a la fase corte cumpliendo los parámetros de calidad y evitando así mudas de espera, movimiento y correcciones.

6.1.2.6. Andon

Es una de las herramientas de control visual, que monitorean el estado de la producción.

6.1.2.6.1. Proceso de implementación de Andon

La implementación de la herramienta Andon en base a la organización Lean Advisors Inc. y tomando en cuenta el entorno del proceso de producción de spools, sería el siguiente:

- I. Capacitar al personal involucrado en los principios, características y beneficios fundamentales de la herramienta Andon.

La capacitación debe obedecer a las siguientes pautas:

- Objetivo General: Dar a conocer los conceptos básicos de la herramienta Andon y su aplicación en las estaciones de trabajo que conforman un proceso de manufactura.
- Objetivos Específicos : Entender el significado de Andon, identificar el objetivo y las características de andon, conocer el código de colores que utiliza e identificar los beneficios de la herramienta
- Metodología: La capacitación se desarrolla en dos etapas:
 1. Documento Previo: Un documento que contenga información referente a Andon: ¿Qué es?, objetivos, características y beneficios.
 2. Capacitación: Se lleva a cabo como taller práctico, en el cual mediante una dinámica con casos y ejemplos reales de la empresa se utilice los colores establecidos para identificar las situaciones anormales en el proceso y se expliquen los demás conceptos de andon.

II. Verificar prerequisites e identificar restricciones

a. Verificación de prerequisites

- Designar lugares específicos que permitan gran visibilidad desde todas las áreas de trabajo de la planta, para ubicar los tableros o conjunto de lámparas que se utilizarán para mostrar las condiciones de operación de las áreas de trabajo.
- Todos los trabajadores deben tener absoluta claridad y conocimiento del significado de los colores de las señales, para que la respuesta ante la condición anormal sea efectiva.

b. Identificación de restricciones

No se identifica restricciones en el desarrollo de la herramienta.

III. Establecer el alcance de la herramienta

Guardando coherencia con las prioridades establecidas y los puntos críticos identificados en el capítulo quinto, su aplicación es primordial en las áreas: Habilitado y armado.

IV. Redactar el objetivo de la herramienta en términos de los procesos de la empresa metalmecánica y asociar cada proceso con el beneficio principal que se desea conseguir en dicho punto del proceso

“Advertir mediante señales visuales las situaciones anormales en las etapas de habilitado y armado del proceso de elaboración de spools para generar menores

tiempos de respuestas ante las dificultades que permitan ir construyendo la calidad de los productos en la línea”.

A continuación se muestra los beneficios a obtener (Ver Tabla 29. Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de Andon)

Tabla 29. Beneficio Obtenido en Puntos Críticos con la Aplicación de Andon

Proceso	Beneficio principal
Habilitado	Señalar las anomalías en los tubos cortados , para evitar que avancen hasta el proceso de armado
Armado	Tener menos tiempos de respuesta cuando se identifica un spool defectuoso, en pleno proceso de armado

V. Identificar situaciones anormales diferentes a los defectos en los spools

La identificación de los escenarios anormales en las áreas de trabajo donde se aplicará Andon, debe realizarse en grupos de trabajo conformados por integrantes de los procesos adyacentes. Para esto se deben realizar tres actividades:

- La primera es realizar una lluvia de ideas de las situaciones consideradas como anormales por los integrantes del equipo.
- Luego se deben filtrar dichas situaciones para obtener un listado de las que realmente aplican en la empresa metalmecánica.
- Por último las situaciones anormales obtenidas en cada proceso y recopiladas en el listado anterior, deben clasificarse, utilizando una tabla (Ver Tabla 30. Esquema para clasificación de situaciones anormales), en las siguientes categorías referentes a tipos generales de situaciones:

Tabla 30. Esquema para clasificación de situaciones anormales

Proceso	Situación anormal		
	Máquina averiada	Ausencia de material	Esperas por cambio en los planos
Habilitado	✓	✓	
Armado		✓	✓

Del análisis hecho al área de habilitado y armado se enmarcan con un check las situaciones anormales que son importantes para los trabajadores.

VI. Validación del código de colores asignado para las situaciones de las estaciones de trabajo.

Luego de la identificación de las múltiples situaciones anormales que se pueden presentar en cada fase del proceso de producción, es necesario que todos los involucrados en el proyecto spool dominen el código de colores establecido para

denominar cada tipo de situación. El código (Ver Tabla 31. Código de colores para señales Andon) que se puede manejar se muestra a continuación:

Tabla 31. Código de colores para señales Andon

Color / Luz	Tipo de situación
	Máquina descompuesta
	Spool defectuoso
	Falta de material
	Esperas por cambio en los planos
Blanco	Fin de la lista de producción
No luz	Sistema operando normalmente

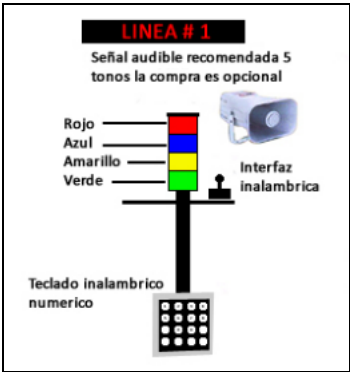
La importancia de dominar el código enunciado antes, recae en los tiempos de respuesta antes la situaciones anormales, pues si un trabajador observa una señal generada por una estación de trabajo y no reconoce rápidamente a qué tipo de situación obedece, no podrá apoyar o lo hará tarde, la toma de las acciones apropiadas para superar la condición que afecta la normalidad del proceso. Para el inicio del sistema, temporalmente se puede fijar el código de colores en lugares próximos a la estaciones de trabajo, para facilitar el uso de las señales. Luego con la práctica no será necesario tener dichos códigos porque cada uno los habrá interiorizado.

VII. Establecer los procesos o áreas de trabajo que contarán con indicadores luminosos para indicar las condiciones de trabajo.

Los procesos que inician a manera de procesos piloto son: habilitado y armado.

Para la prueba piloto se utiliza para cada puesto de trabajo (habilitado y armado) el siguiente dispositivo (Ver Figura 16. Dispositivo Andon)

Figura 16. Dispositivo Andon



VIII. Medir la frecuencia y el tiempo de respuesta actual frente a los tipos de situaciones anormales.

Por equipos de trabajo, se realizó la medición durante una semana considerando la frecuencia y el tiempo tomado en responder frente a las situaciones clasificadas como anormales. Cada grupo toma un tipo de situación: Máquina descompuesta, spool defectuoso, esperas por cambio en los planos, o de modelo y/o tipo de spool; así como la falta de material.

IX. Realizar pruebas piloto donde se mida la frecuencia y tiempo de respuesta ante los tipos de situaciones anormales.

Las mediciones deben realizarse en los mismos grupos de la etapa VIII, para poder efectuar la comparación. A continuación se muestran los resultados de las pruebas pilotos realizados a las áreas de habilitado y armado:

Tabla 32. Esquema para clasificación de situaciones anormales - habilitado

Tipo de situación	Número de veces que se presentó	Tiempo promedio de respuesta sin Andón (min)	Tiempo promedio de respuesta con Andon
Máquina descompuesta	2	15	4
Pieza defectuosa	2	10	3
Falta de material	2	25	3
Esperas por cambio en los planos	1	30	6

Tabla 33. Esquema para clasificación de situaciones anormales - armado

Tipo de situación	Número de veces que se presentó	Tiempo promedio de respuesta sin Andón (min)	Tiempo promedio de respuesta con Andón
Máquina descompuesta	4	16	3
Pieza defectuosa	4	12	2
Falta de material	5	8	4
Esperas por cambio en los planos	3	15	7

X. Realizar una comparación entre los datos obtenidos en las etapas VIII y IX, concluyendo sobre la instalación de los indicadores visuales.

Con la información obtenida en la etapa anterior, se realiza las siguientes gráficas (Ver Figuras 17. y Figura 18.), se muestra un ejemplo, para poder comparar el tiempo de respuesta con la aplicación de señales Andon y sin estas:

Figura 17. Gráfico de tiempos de respuesta frente a situaciones anormales del proceso habilitado

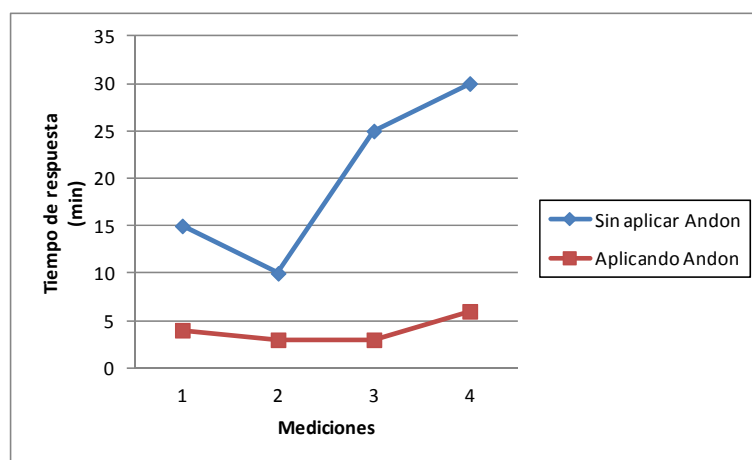
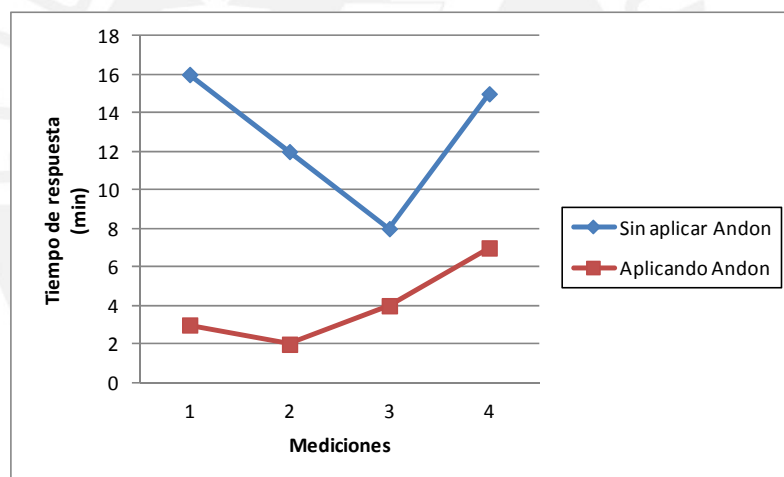


Figura 18. Gráfico de tiempos de respuesta frente a situaciones anormales del proceso armado



Estas gráficas deben ser publicadas en un lugar visible de la planta como en carteleras, para que todo el personal conozca los resultados de las pruebas con la herramienta.

Finalmente, mediante la comparación de los resultados de las mediciones, se debe tomar la decisión poner en funcionamiento el sistema, decisión que debe ser comunicada a los grupos de trabajo.

XI. Iniciar la operación de la herramienta

A partir de la evolución observada con la implantación de la herramienta se actualizan permanentemente las metas, logros que deben publicarse de manera regular en los

lugares de la planta destinados para los avances, resultados, mejoras y aportes de las herramientas.

XII. Monitorear los logros alcanzados

Los grupos de trabajo son los encargados de realizar el seguimiento al sistema y evaluar la efectividad del mismo frente a las metas propuestas y los beneficios presupuestados en las etapas previas.

6.1.2.6.2. Impacto de andon en los defectos

La metodología desarrollada para la aplicación de la herramienta Andon, impacta directamente el defecto

- Junta apuntalada:

Contando con señales de advertencia en el proceso de corte, que permitan advertir cuando los tubos salen del corte con anomalías, se facilita el armado de estas con algún accesorio, asegurando que ningún tubo con defectos llegue a armado sin haber sido identificada.

- Nivelado de juntas:

Con la colocación de un sistema que permita la visualización del estado de los puestos de trabajo en armado, se facilitaría la detección cuando ocurra problemas de nivelado en las juntas que van a ser apuntaladas. Estos problemas deben ser detectados inmediatamente por el soldador.

- Irregularidad en el corte de tubos

Un sistema andón en el área de corte facilitaría la visualización y detección de un corte irregular por diversos factores. Se complementaría con la herramienta Jidoka.

6.2. Impacto de las herramientas de manufactura esbelta en los defectos

Como se enunció en el capítulo cuarto, con las herramientas de manufactura esbelta no sólo se solucionan los siete defectos seleccionados como prioritarios; sino que se solucionan o disminuyen una mayor cantidad de defectos, debido a la relación complementaria que existe entre las herramientas. De acuerdo con la asignación de herramientas de manufactura esbelta (ver numeral 4.2.3) y teniendo la explicación teórica, es conveniente valorar el nivel de impacto que ejerce cada una de las seis herramientas desarrolladas sobre todos los defectos seleccionados. Para esto, se definieron tres niveles de impacto, así tenemos:

Tabla 34. Representación del nivel de impacto de las herramientas en la solución de los defectos

Nivel de impacto	Representación
Fuerte	
Medio	
Bajo	
No existe impacto	

Entonces se aplica la valoración correspondiente, el impacto de las herramientas sobre los defectos se obtiene una matriz que señala la relevancia y aporte de cada herramienta para la solución de cada problema. A continuación se muestra el resultado obtenido para los problemas prioritarios. Tabla 31. Impacto de las herramientas de manufactura esbelta en los problemas seleccionados; el resultado obtenido para la totalidad de problemas se encuentra en el Anexo 23. Impacto de las herramientas de manufactura esbelta en los defectos detectados.

Tabla 35. Impacto de las herramientas de manufactura esbelta en los problemas seleccionados

Herramienta	DEFECTO					
	1	3	8	9	12	15
	Traslado de accesorios	Junta apuntalada	Spool armado	Espacio armado de spools	Nivelado de juntas	Desorden área de corte
5'S						
Kanban						
Jidoka						
Justo a Tiempo						
Andon						
Poka Yoke						

Herramienta	DEFECTO					
	17	18	20	24	27	29
	Conocimiento dimensiones del tubo	Irregularidad en el corte de tubos	Incumplimiento de las tolerancias del tubo cortado	Soldadura interrumpida por viento	Traslado de spools (raíz-acabado)	Espera de spools a pintar
5'S						

Kanban						
Jidoka						
Justo a Tiempo						
Andon						
Poka Yoke						



7. Evaluación financiera del proyecto

Pensando un proyecto de inversión como un conjunto de actividades de aplicación de recursos para generar producción adicional real⁴¹ se inicia el proceso de construcción del Flujo Neto de Fondos de la Propuesta realizada a la empresa en estudio. Para la empresa metalmecánica en estudio, se presenta como criterios relevantes en la evaluación financiera de un proyecto los siguientes puntos:

- La tasa de rentabilidad que se espera de un proyecto es del 14% efectivo anual; esta resulta ser la tasa que la empresa define como el mínimo atractivo para decidir involucrarse en un proyecto de inversión.
- El horizonte del proyecto planteado es de dos años.

Es necesario resaltar que aun cuando la empresa desea la evaluación del proyecto en un periodo de dos años, no quiere decir esto que al final de este periodo se vaya a dar por terminado el proyecto, por el contrario la implementación de la manufactura esbelta implica un proceso continuo de mejoramiento que debe continuar siendo ajustado y evaluado hasta que forme parte de la cultura y principios de trabajo en la empresa.

Teniendo claros los criterios bajo los cuales se van a tomar decisiones respecto a la propuesta presentada es posible desarrollar y presentar con mayor claridad los diferentes resultados encontrados. La información fue analizada en cuatro situaciones específicas, las cuales fueron definidas con la empresa, estas son:

- Tomando en cuenta únicamente los defectos seleccionados como prioritarios en el capítulo 3 y que pueden reducirse básicamente con la realización de la capacitación.
- Tomando en cuenta los defectos seleccionados como prioritarios en el capítulo 3, para lo cual se realiza un análisis de sensibilidad.
- Teniendo en cuenta todos los defectos encontrados en la línea de producción de la empresa que pueden reducirse básicamente con capacitación.
- Teniendo en cuenta todos los defectos encontrados en la línea de producción de la empresa, para lo cual se realiza un análisis de sensibilidad.

7.1. Teniendo en cuenta defectos definidos como prioritarios y que se reducen con capacitación

A continuación se desarrolla la evaluación financiera si en el proyecto se decidiera atacar únicamente los defectos determinados como prioritarios que pueden reducirse con la aplicación de 5S y Kanban; haciendo la suposición de que al usar las herramientas correspondientes no se generarían efectos en otros de los defectos

⁴¹ Valoración de proyectos de inversión. H. Peumans. Deusto 1967. Página 21

encontrados. Se tienen en cuenta únicamente 5S y Kanban ya que son herramientas que además de usar principalmente la capacitación, son despreciables los costos asociados que generan.

7.1.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos prioritarios a solucionar con capacitación

Dentro del análisis que se realizó a la propuesta tomando como referencia los posibles resultados sobre la reducción de defectos prioritarios se determinaron con claridad dos puntos en los cuales resultaba necesaria una inversión: Capacitación y capital de trabajo.

- Capacitación: la inversión en capacitación (Ver Tabla 36. Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de 5s y kanban) contempla la capacitación de todos los miembros del equipo de producción de spools en las dos herramientas (5S, Kankan). Para determinar el valor de la inversión en capacitación, se tuvieron en cuenta los costos de la capacitación propiamente dicha y los costos adicionales generados por el tiempo que deben permanecer las personas involucradas en dicha capacitación. Respecto al tiempo de las personas se considera la opción de realizar la capacitación después de la jornada laboral, pagando las horas- extra, con el propósito de no interrumpir ni alterar el flujo de producción.

Tabla 36. Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de 5s y kanban

Descripción del personal a capacitar	Número de personas a capacitar	Valor promedio de una hora de trabajo por	Valor promedio por hora de trabajo por tipo de
Operarios	40	S/. 21.88	S/. 875.00
Jefes de producción	4	S/. 43.75	S/. 175.00
Asistentes de producción	2	S/. 28.13	S/. 56.25

Herramienta	Cantidad de Hrs. Requeridas para la capacitación	Valor hora de capacitación	Valor Hr. Extra trabajadores capacitados	Valor Total
5'S	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Kanban	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
TOTAL				S/. 150,750.00
				\$55,833.33

De la tabla anterior, se establece la necesidad de invertir \$ 55 833,33 en la capacitación inicial de las dos herramientas desarrolladas.

- Capital de trabajo: El ahorro en tiempo y materiales que se logra con la reducción de defectos, debido a la aplicación de 5S y Kanban, aumenta la capacidad de

⁴², entonces se pueden elaborar 21,64 spools adicionales al eliminar por completo todos los defectos prioritarios relacionados con 5S y Kanban. Además, considerando que la dificultad para eliminar el 100% de los defectos en 2 años implica una reducción del 55%⁴³ de los defectos, con ello obtenemos la tabla 37. Producción adicional lograda por la reducción de defectos prioritarios con 5s y kanban.

Tabla 37. Producción adicional lograda por la reducción de defectos prioritarios con 5s y kanban

PRODUCCIÓN ADICIONAL – DEFECTOS PRIORITARIOS CON 5S Y KANBAN

Reducción de Defectos	55%
Tiempo de elaboración (hr/spool)	40
Valor promedio de un spool	\$15000

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Incremento en demanda (%)		12%	18%
Tiempo total por defectos (hr)	865.73	969.62	993.86
Und. Adicionales totales	21.64	24.24	24.85
Ahorro de tiempo real (hr)	476.15	533.29	546.62
Und. Adicionales posibles	7.94	8.89	9.11
Valor total en defectos (\$)	\$1,619,469.83	\$1,850,082.33	\$2,237,674.58
Ahorro en defectos (\$)	\$890,708.41	\$1,017,545.28	\$1,230,721.02

Considerando el resultado anterior y que no se tiene inventarios de spools terminados⁴⁴, pero si se necesitarán materiales para la fabricación de los spools adicionales a fabricar por el ahorro mostrado con la reducción de defectos, se obtiene

⁴² El tiempo promedio de elaboración de los spools más comunes ha sido determinado por la empresa y fue proporcionado para el presente trabajo.

⁴³ Se asumen reducciones del 55% de los defectos, ya que según Improven consultores con la implementación de Manufactura Esbelta se logran en promedio reducciones de un 60%. (<http://www.improven.com>)

⁴⁴ Por políticas de la empresa en cuanto a inventario de spools terminados se determina que debe ser cero, ya que se produce un spool ya comprado.

la Tabla 38. Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar 5s y kanban a defectos prioritarios:

Tabla 38. Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar 5s y kanban a defectos prioritarios

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Und. Adicionales a Producir	11.90	13.33	13.67
Ventas adicionales promedio	\$178,557.50	\$199,984.40	\$204,984.01
Materiales requeridos (\$/spool)	\$12,000.00	\$12,240.00	\$12,546.00

Una vez determinadas las inversiones del proyecto se procede a realizar el plan de inversión donde se determinan las cantidades a invertir en los diferentes conceptos y el momento en el cual se realiza cada una de las inversiones determinadas para cumplir con los requerimientos de producción que se generan gracias a los ahorros obtenidos mediante la reducción de defectos. Se incluyen las inversiones desarrolladas anteriormente y además se tienen en cuenta los costos para la elaboración de las tarjetas Kanban ⁴⁵ y los costos en implementos de organización para apoyar la implementación de 5S (Ver Tabla 39. Plan de inversiones reduciendo defectos prioritarios con 5s y kanban).

Tabla 39. Plan de inversiones reduciendo defectos prioritarios con 5s y kanban

	2011	2012	2013
PLAN DE INVERSIÓN			
Activos			
Capacitación inicial	\$55,833.33		
Tarjetas Kanban	\$5,000.00	\$4,000.00	\$3,000.00
Implementos de Organización	\$500,000.00	\$600,000.00	\$600,000.00
TOTAL ACTIVOS	\$560,833.33	\$604,000.00	\$603,000.00
Capital de Trabajo			
Materiales requeridos	\$97,135.28	\$111,511.30	
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	\$97,135.28	\$111,511.30	
TOTAL INVERSIONES	\$657,968.61	\$715,511.30	\$603,000.00

7.1.2 Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta únicamente los defectos prioritarios a reducir con capacitación

A continuación se muestra el Flujo neto de fondos del proyecto, lo que permite organizar de forma estructurada las diferentes inversiones en el desarrollo del proyecto

⁴⁵ Se estima para el 2011 con el supervisor del proyecto, el requerimiento de 2500 tarjetas cada una con un valor de \$2, y para los años siguientes 2000 y 1500 tarjetas de reemplazo

y de las piezas adicionales que se elaboran gracias a las mejoras propuestas. El resultado del flujo se muestra en la Tabla 40. Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta solo defectos prioritarios a solucionar con 5s y kanban).

Tabla 40. Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta solo defectos prioritarios a solucionar con 5s y kanban)

INFORMACIÓN GENERAL

	2011	2012	2013
Inflación		2.5%	3%
Impuestos	30%	30%	30%
Costo ventas (% sobre ventas)	60%	60%	60%
Gastos operacionales (% sobre ventas)	35%	35%	35%

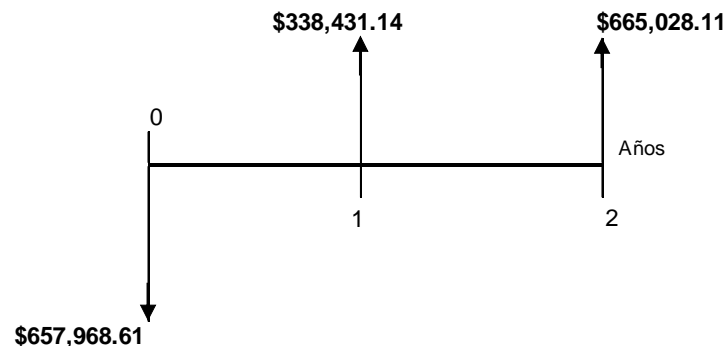
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO

	2011	2012	2013
Ventas		\$199,984.40	\$204,984.01
- Costo de venta		-\$119,990.64	-\$122,990.41
Utilidad Bruta		\$79,993.76	\$81,993.60
- Gastos operacionales		-\$27,997.82	-\$28,697.76
Utilidad operacional		\$51,995.94	\$53,295.84
- Intereses		-	-
Utilidad antes de impuestos		\$51,995.94	\$53,295.84
- Provisión impuestos (30%)		-\$15,598.78	-\$15,988.75
Utilidad neta		\$36,397.16	\$37,307.09
+ Ahorro en reducción de defectos		\$1,017,545.28	\$1,230,721.02
- Inversión en capacitación	-\$55,833.33	\$0.00	\$0.00
- Inversión en tarjetas kanban	-\$5,000.00	-\$4,000.00	-\$3,000.00
- Inversión en implementos para organizar	-\$500,000.00	-\$600,000.00	-\$600,000.00
- Inversión en Capital de Trabajo	-\$97,135.28	-\$111,511.30	
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	-\$657,968.61	\$338,431.14	\$665,028.11

7.1.3 Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta defectos prioritarios

Tomando como punto de partida el flujo de fondos obtenido anteriormente y plasmándolo de forma gráfica se obtiene el diagrama de flujo de fondos (Ver figura 19):

Figura 19. Diagrama de flujo de fondos (tienen en cuenta solo defectos prioritarios a reducir con 5s y kanban)



A partir de esta información se evalúa la propuesta por medio de diversas técnicas de análisis financiero, encontrándose los resultados en la Tabla 41. Resultado de técnicas financieras (defectos prioritarios a reducir con 5s y kanban).

Tabla 41. Resultado de técnicas financieras (defectos prioritarios a reducir con 5s y kanban)

RESULTADO DE TÉCNICAS FINANCIERAS

TREMA (Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva)	14%
TIR (Tasa Interna de Retorno)	29%
VPN (Valor Presente Neto)	\$150,618.35
VPN Ingresos	\$808,586.96
VPN Egresos	\$657,968.61
B/C (Relación Beneficio Costo)	1.23

Esto permite llegar a varias conclusiones entre las cuales están:

- Desde el punto de vista de la TIR (Tasa Interna de Retorno) el proyecto resulta factible e interesante para la empresa metalmecánica pues supera sus expectativas de rentabilidad del 14% efectivo anual ofreciendo un retorno a la inversión de 29%
- El que el VPN corresponda a un valor mayor a cero indican que el proyecto permite la obtención de ganancias a favor del inversionista. También permite determinar que reduciendo el 55% de los defectos prioritarios con 5S y Kanban, la inversión podría llegar a aumentar hasta un monto de \$150 618,35 y el proyecto seguiría siendo atractivo para la empresa metalmecánica
- La relación beneficio costo permite determinar que el beneficio del proyecto supera el costo del mismo 1.23 veces; es decir que son mayores las retribuciones que se tienen del proyecto que la inversión que resulta necesario hacer en el mismo.

7.2. Tomando en cuenta los defectos seleccionados como prioritarios en el capítulo 3, para lo cual se realiza un análisis de sensibilidad

A continuación se muestra la situación financiera que se expondría al aplicar la propuesta realizada a la totalidad de defectos prioritarios definidos en el capítulo tres; esto significa que se debe de tomar en cuenta las seis herramientas (5S, Justo a Tiempo, Kanban, Jidoka, Poka Yoke y Andon), teniendo en cuenta únicamente la inversión en capacitación. Los pasos a seguir y los parámetros que se tienen en cuenta son exactamente los mismos que se desarrollaron para el caso anterior.

7.2.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos prioritarios

Básicamente se consideran dos inversiones, las cuales son:

- Capacitación: la inversión en capacitación (Ver tabla 42.) contempla la capacitación de todos los miembros del equipo de producción de spools en las herramientas de manufactura esbelta expuestas en el presente trabajo.

Tabla 42. Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de herramientas de manufactura esbelta

CAPACITACIÓN

Descripción del personal a capacitar	Número de personas a capacitar	Valor promedio de una hora de trabajo por persona	Valor promedio por hora de trabajo por tipo de trabajador
Operarios	40	S/. 21.88	S/. 875.00
Jefes de producción	4	S/. 43.75	S/. 175.00
Asistentes de producción	2	S/. 28.13	S/. 56.25
			S/. 1,106.25

Herramienta	Cantidad de Hr requeridas para la Capacitación	Valor Hora de Capacitación	Valor Hr Extra Trabajadores Capacitados	Valor Total
5'S	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Justo a Tiempo	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Kanban	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Jidoka	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Poka Yoke	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Andon	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
				S/. 452,250.00
				\$ 167,500.00

Esta tabla indica la necesidad de invertir \$ 167 500,00 para capacitar inicialmente a todo el personal de producción de la empresa metalmecánica.

- Capital de trabajo: Siguiendo el enfoque del punto 7.1, se determinó que el tiempo anual utilizado en el arreglo de defectos prioritarios es de 822.9 horas (Ver Anexo 25.

Costos y tiempos adicionales debidos a defectos prioritarios). Si el tiempo promedio para elaborar un spool es de 40 horas, entonces se pueden elaborar 20.57 unidades adicionales al eliminar por completo todos los defectos prioritarios. Además, asumiendo una reducción del 55%⁴⁶ en defectos en los dos años siguientes se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 43. Producción adicional lograda por la reducción de defectos prioritarios

PRODUCCIÓN ADICIONAL – TODOS LOS DEFECTOS PRIORITARIOS

Reducción de Defectos	55%
Tiempo elaboración (hr)/Und	40
Valor promedio de un colchón	\$15 000

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Incremento en demanda (%)		12%	18%
Tiempo total por defectos (hr)	822.9	921.648	944.6892
Und. Adicionales totales	20.57	23.04	23.62
Ahorro de tiempo real (hr)	452.60	506.91	519.58
Und. Adicionales posibles	11.31	12.67	12.99
Valor total en defectos (\$)	\$1,977,342.39	\$2,258,915.95	\$2,732,158.84
Ahorro en defectos (\$)	\$1,087,538.32	\$1,242,403.77	\$1,502,687.36

Teniendo en cuenta el resultado anterior y que no se tiene inventarios de spools terminados⁴⁷, se muestra a continuación la inversión de material requerido:

Tabla 44. Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar herramientas de manufactura esbelta

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Und. Adicionales a Producir	9.12	10.21	10.47
Ventas adicionales promedio	\$136,774.69	\$153,187.65	\$157,017.34
Materiales requeridos (\$/spool)	\$12,000.00	\$12,240.00	\$12,546.00

Una vez determinadas las inversiones del proyecto se procede a realizar el plan de inversión para determinar de forma organizada y estructurada la forma en que se debe desarrollarse financieramente el proyecto para obtener los resultados esperados.

⁴⁶ Revisar nota al pie número 51

⁴⁷ Por políticas de la empresa en cuanto a inventario de spools terminados se determina que debe ser cero, ya que se produce un spool ya vendido.

Tabla 45. Plan de inversiones reduciendo defectos prioritarios

	2011	2012	2013
Activos			
Capacitación inicial	\$167,500.00		
Tarjetas Kanban	\$5,000.00	\$4,000.00	\$3,000.00
Implementos de Organización	\$500,000.00	\$600,000.00	\$600,000.00
TOTAL ACTIVOS	\$672,500.00	\$604,000.00	\$603,000.00
Capital de Trabajo			
Materiales requeridos	\$138,494.07	\$158,991.19	
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	\$138,494.07	\$158,991.19	
TOTAL INVERSIONES	\$810,994.07	\$762,991.19	\$603,000.00

7.2.2. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta únicamente los defectos prioritarios

A continuación se encuentra el Flujo de Fondos construido a partir de la información obtenida.

Tabla 46. Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta solo defectos prioritarios)

	2011	2012	2013
Inflación		2.5%	3%
Impuestos	30%	30%	30%
Costo ventas (% sobre ventas)	60%	60%	60%
Gastos operacionales (% sobre ventas)	35%	35%	35%

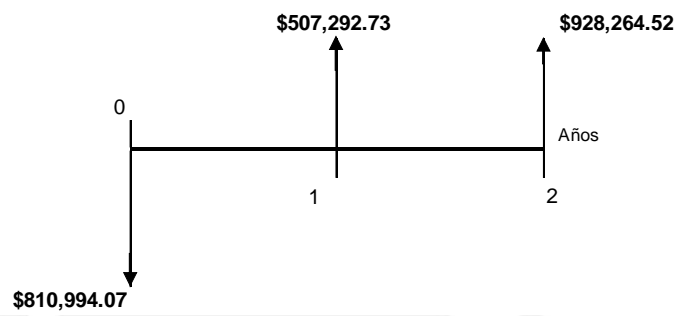
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO

	2011	2012	2013
Ventas		\$153,187.65	\$157,017.34
- Costo de venta		-\$91,912.59	-\$94,210.40
Utilidad Bruta		\$61,275.06	\$62,806.94
- Gastos operacionales		-\$21,446.27	-\$21,982.43
Utilidad operacional		\$39,828.79	\$40,824.51
- Intereses		-	-
Utilidad antes de impuestos		\$39,828.79	\$40,824.51
- Provisión impuestos (30%)		-\$11,948.64	-\$12,247.35
Utilidad neta		\$27,880.15	\$28,577.16
+ Ahorro en reducción de defectos		\$1,242,403.77	\$1,502,687.36
- Inversión en capacitación	-\$167,500.00	\$0.00	\$0.00
- Inversión en tarjetas kanban	-\$5,000.00	-\$4,000.00	-\$3,000.00
- Inversión en implementos para organizar	-\$500,000.00	-\$600,000.00	-\$600,000.00
- Inversión en Capital de Trabajo	-\$138,494.07	-\$158,991.19	
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	-\$810,994.07	\$507,292.73	\$928,264.52

7.2.3. Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta defectos prioritarios

Tomando como punto de partida el flujo de fondos obtenido anteriormente y plasmándolo de forma gráfica se obtiene:

Figura 20. Diagrama de flujo de fondos (tienen en cuenta todos los defectos prioritarios)



Al evaluar por medio de diversas técnicas de análisis financiero, se obtienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla 47. Resultado de técnicas financieras (defectos prioritarios a reducir con herramientas de manufactura esbelta):

Tabla 47. Resultado de técnicas financieras (defectos prioritarios a reducir con herramientas de manufactura esbelta)

TREMA (Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva)	14%
TIR (Tasa Interna de Retorno)	43%
VPN (Valor Presente Neto)	\$348,268.96
VPN Ingresos	\$1,159,263.03
VPN Egresos	\$810,994.07
B/C (Relación Beneficio Costo)	1.43

Esto permite llegar a varias conclusiones entre las cuales están:

- A partir de la TIR (Tasa Interna de Retorno) el proyecto resulta factible pues supera sus expectativas de rentabilidad del 14% efectivo anual ofreciendo un retorno a la inversión de 43%.
- El que el VPN corresponda a un valor mayor a cero indican que el proyecto permite la obtención de ganancias a favor del inversionista.
- La relación beneficio costo permite determinar que el beneficio del proyecto supera el costo del mismo 1,43 veces.

Al realizar un análisis de sensibilidad al porcentaje de defectos que deben reducirse para que el proyecto siga siendo factible y atractivo para la empresa metalmecánica , se obtiene que deben reducirse por lo menos en un 45,2 % los

defectos prioritarios, de acuerdo con las condiciones propuestas para asegurar un resultado satisfactorio para la empresa. Con este nuevo escenario el Flujo de Fondos que se obtendría es el siguiente:

Tabla 48. Flujo de fondos recalculado según análisis de sensibilidad del porcentaje de defectos reducidos

INFORMACIÓN GENERAL

	2011	2012	2013
Inflación		2.5%	3%
Impuestos	30%	30%	30%
Costo ventas (% sobre ventas)	60%	60%	60%
Gastos operacionales (% sobre ventas)	35%	35%	35%

FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO

	2011	2012	2013
Ventas		\$156,219.34	\$160,124.82
- Costo de venta		-\$93,731.60	-\$96,074.89
Utilidad Bruta		\$62,487.73	\$64,049.93
- Gastos operacionales		-\$21,870.71	-\$22,417.47
Utilidad operacional		\$40,617.03	\$41,632.45
- Intereses		-	-
Utilidad antes de impuestos		\$40,617.03	\$41,632.45
- Provisión impuestos (30%)		-\$12,185.11	-\$12,489.74
Utilidad neta		\$28,431.92	\$29,142.72
+ Ahorro en reducción de defectos		\$1,021,030.01	\$1,234,935.80
- Inversión en capacitación	-\$167,500.00	\$0.00	\$0.00
- Inversión en tarjetas kanban	-\$5,000.00	-\$4,000.00	-\$3,000.00
- Inversión en implementos para organizar	-\$500,000.00	-\$600,000.00	-\$600,000.00
- Inversión en Capital de Trabajo	-\$113,816.94	-\$130,661.85	
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	-\$786,316.94	\$314,800.08	\$661,078.51

Este escenario arrojaría los siguientes resultados de técnicas financieras (Ver Tabla 49. Resultado de técnicas financieras ajustando la reducción de defectos a un 45.2%):

Tabla 49. Resultado de técnicas financieras ajustando la reducción de defectos a un 45.2%

TREMA (Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva)	14%
TIR (Tasa Interna de Retorno)	14%
VPN (Valor Presente Neto)	-\$1,498.08
VPN Ingresos	\$784,818.87
VPN Egresos	\$786,316.94
B/C (Relación Beneficio Costo)	1.00

Este resultado indica que al lograr una reducción de defectos prioritarios que sea mayor al 45,2% se obtiene un resultado factible y atractivo del proyecto para la empresa metalmecánica desde su posición como inversionista.

7.3. Teniendo en cuenta todos los defectos definidos y que se reducen con capacitación

El análisis financiero que se presenta a continuación corresponde al caso en el cual se atacan todos los defectos detectados que pueden reducirse a través de la aplicación de herramientas cuya inversión principal corresponde a la capacitación, como es el caso de las herramientas 5S y Kanban.

7.3.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos a solucionar con capacitación

De forma similar que en las situaciones presentadas anteriormente la atención en cuanto a inversiones que se necesitan realizar se centra en dos aspectos principales, los cuales son:

- Capacitación: Invertir en este concepto implica la capacitación de todos los miembros del equipo spools en las dos herramientas (5S, Kankan) mencionadas de manufactura esbelta.

Tabla 50. Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de 5s y kanban en todo el sistema de producción de spools

CAPACITACION

Descripción del personal a capacitar	Número de personas a capacitar	Valor promedio de una hora de trabajo por persona	Valor promedio por hora de trabajo por tipo de trabajador
Operarios	40	S/. 21.88	S/. 875.00
Jefes de producción	4	S/. 43.75	S/. 175.00
Asistentes de producción	2	S/. 28.13	S/. 56.25
			S/. 1,106.25

Herramienta	Cantidad de Hrs. Requeridas para la capacitación	Valor hora de capacitación	Valor Hr. Extra trabajadores capacitados	Valor Total
5'S	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Kanban	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
			TOTAL	S/. 150,750.00
				\$55,833.33

De la tabla mostrada, se puede inferir que se requiere \$ 55,833.33 para realizar la capacitación inicial de todo el personal de involucrado en el proyecto spool.

- Capital de Trabajo: Tomando como referencia los tiempos requeridos en la solución de defectos y la frecuencia con la que se presentan, se determinó que el tiempo anual utilizados en el arreglo de defectos que pueden debido a la capacitación en herramientas de manufactura esbelta es de 822.9 horas (Ver Anexo 26. Costos y tiempos adicionales debidos a todos los defectos a reducir con 5S y kanban). Asumiendo un tiempo promedio para elaborar un spool común es de 40 horas, se pueden elaborar 32.29 spools adicionales al eliminar por completo todos los defectos relacionados con las herramientas 5S y Kanban. Ahora bien, como en los escenarios anteriores, se asume una reducción del 55% de los defectos para obtener la producción adicional lograda por la reducción de defectos detectados con 5s y kanban (Ver Tabla 51. Producción adicional lograda por la reducción de defectos detectados con 5s y kanban).

Tabla 51. Producción adicional lograda por la reducción de defectos detectados con 5s y kanban

PRODUCCION ADICIONAL

Reducción de Defectos	55%
Tiempo elaboración (hr) / Spool	40
Valor promedio de un spool	\$ 15 000

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Incremento en demanda (%)		12%	18%
Tiempo total por defectos (hr)	1291.48	1446.46	1482.62
Und. Adicionales totales	32.29	36.16	37.07
Ahorro de tiempo real (hr)	710.31	795.55	815.44
Und. Adicionales posibles	17.76	19.89	20.39
Valor total en defectos (\$)	\$2,288,152.64	\$2,613,985.58	\$3,161,615.56
Ahorro en defectos (\$)	\$1,258,483.95	\$1,437,692.07	\$1,738,888.56

A partir de los resultados obtenidos, se construye la Tabla 52. Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar 5s y kanban a defectos detectados:

Tabla 52. Materiales requeridos para suplir la producción adicional generada al aplicar 5s y kanban a defectos detectados

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Und. Adicionales a Producir	17.76	19.89	20.39
Ventas adicionales promedio	\$266,367.41	\$298,331.50	\$305,789.78
Materiales requeridos (\$/spool)	\$12,000.00	\$12,240.00	\$12,546.00

El resultado anterior permite hallar los materiales que se necesitarán para cada uno de los periodos para así cubrir los requerimientos adicionales de producción. A

continuación se elabora el plan de inversiones (Ver Tabla 53. Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta todos los defectos detectados a solucionar con 5s y kanban)) donde se establece el monto de cada inversión y el momento en el cual estas deben realizarse.

Tabla 53. Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta todos los defectos detectados a solucionar con 5s y kanban)

	2011	2012	2013
Activos			
Capacitación inicial	\$55,833.33		
Tarjetas Kanban	\$5,000.00	\$4,000.00	\$3,000.00
Implementos de Organización	\$500,000.00	\$600,000.00	\$600,000.00
TOTAL ACTIVOS	\$560,833.33	\$604,000.00	\$603,000.00
Capital de Trabajo			
Materiales requeridos	\$217,355.80	\$249,524.46	
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	\$217,355.80	\$249,524.46	
TOTAL INVERSIONES	\$778,189.14	\$853,524.46	\$603,000.00

7.3.2 Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta únicamente los defectos a reducir con capacitación

El Flujo de Fondos que se obtiene al reducir todos los defectos detectados mediante la capacitación en 5S y Kanban se presenta a continuación:

Tabla 54. Flujo de fondos del proyecto (tiene en cuenta todos los defectos detectados a solucionar con 5s y kanban)

	2011	2012	2013
Inflación		2.5%	3%
Impuestos	30%	30%	30%
Costo ventas (% sobre ventas)	60%	60%	60%
Gastos operacionales (% sobre ventas)	35%	35%	35%

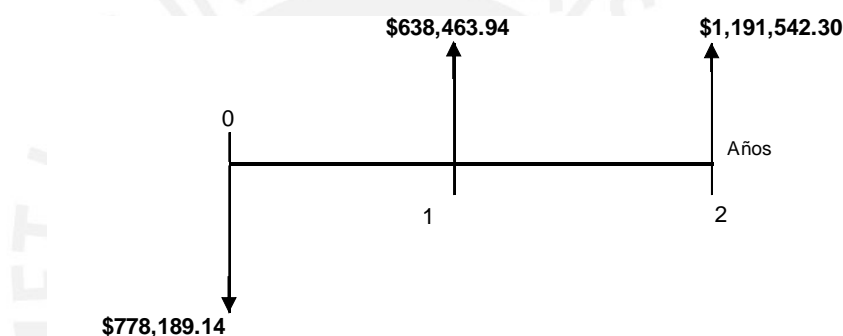
	2011	2012	2013
Ventas		\$298,331.50	\$305,789.78
- Costo de venta		-\$178,998.90	-\$183,473.87
Utilidad Bruta		\$119,332.60	\$122,315.91
- Gastos operacionales		-\$41,766.41	-\$42,810.57
Utilidad operacional		\$77,566.19	\$79,505.34
- Intereses		-	-
Utilidad antes de impuestos		\$77,566.19	\$79,505.34
- Provisión impuestos (30%)		-\$23,269.86	-\$23,851.60
Utilidad neta		\$54,296.33	\$55,653.74

+ Ahorro en reducción de defectos		\$1,437,692.07	\$1,738,888.56
- Inversión en capacitación	-\$55,833.33	\$0.00	\$0.00
- Inversión en tarjetas kanban	-\$5,000.00	-\$4,000.00	-\$3,000.00
- Inversión en implementos para organizar	-\$500,000.00	-\$600,000.00	-\$600,000.00
- Inversión en Capital de Trabajo	-\$217,355.80	-\$249,524.46	
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	-\$778,189.14	\$638,463.94	\$1,191,542.30

7.3.3. Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta defectos seleccionados a solucionar mediante capacitación

Luego de haber obtenido el flujo de fondos de proyecto, se procede a realizar el diagrama del flujo de fondos:

Figura 21. Diagrama de Flujo de Fondos (tiene en cuenta todos los defectos detectados a reducir con 5s y kanban)



A continuación se muestra los resultados obtenidos mediante técnicas financieras (Ver Tabla 55. Resultado de técnicas financieras (todos los defectos detectados a reducir con 5s y kanban).

Tabla 55. Resultado de técnicas financieras (todos los defectos detectados a reducir con 5s y kanban)

RESULTADO DE LAS TÉCNICAS FINANCIERAS

TREMA (Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva)	14%
TIR (Tasa Interna de Retorno)	71%
VPN (Valor Presente Neto)	\$698,720.06
VPN Ingresos	\$1,476,909.19
VPN Egresos	\$778,189.14
B/C (Relación Beneficio Costo)	1.90

Los resultados obtenidos permiten concluir:

- El proyecto ofrece un retorno a la inversión del 71% lo que hace que sea factible para la empresa, ya que supera sus expectativas de rentabilidad del 14% efectivo anual.

- El que el VPN (Valor Presente Neto) indica que el proyecto permite la obtención de ganancias por parte del inversionista ya que es un valor mayor a cero. También permite concluir que reduciendo el 55% de los defectos prioritarios con 5S y Kanban la inversión podría llegar a aumentar hasta un monto de \$ 698 720,06 y el proyecto seguiría siendo atractivo para la empresa metalmecánica.
- Respecto a la relación beneficio costo este muestra que el proyecto supera el costo del mismo en 1.9 veces.

7.4. Teniendo en cuenta todos los defectos prioritarios detectados

Finalmente, se realiza un análisis similar al realizado para todos los defectos prioritarios, pero esta vez teniendo en cuenta la totalidad de defectos detectados (prioritarios y no prioritarios) con las herramientas respectivas.

7.4.1. Descripción de las inversiones teniendo en cuenta los defectos detectados

- Capacitación: De la misma forma en que se realizó el análisis en el escenario anterior, se determina la inversión requerida en la Tabla 56. Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de herramientas de manufactura esbelta.

Tabla 56. Inversión requerida en capacitación inicial para la implementación de herramientas de manufactura esbelta

CAPACITACION

Descripción del personal a capacitar	Número de personas a capacitar	Valor promedio de una hora de trabajo por persona	Valor promedio por hora de trabajo por tipo de trabajador
Operarios	40	S/. 21.88	S/. 875.00
Jefes de producción	4	S/. 43.75	S/. 175.00
Asistentes de producción	2	S/. 28.13	S/. 56.25
			S/. 1,106.25

Herramienta	Cantidad de Hr requeridas para la Capacitación	Valor Hora de Capacitación	Valor Hr Extra Trabajadores Capacitados	Valor Total
5'S	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Justo a Tiempo	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Kanban	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Jidoka	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Poka Yoke	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
Andon	60	S/. 150.00	S/. 1,106.25	S/. 75,375.00
				S/. 452,250.00
				\$ 167,500.00

Esto significa que se deben invertir \$ 167 500,00 para lograr que todo el personal de producción reciba la capacitación inicial en los fundamentos de las seis herramientas de manufactura esbelta desarrolladas.

- Capital de trabajo: A partir de los tiempos requeridos para solucionar cada uno de los defectos y de la frecuencia anual con la cual estos se presentan se determinó que el tiempo anual utilizado en todos los defectos es de 1547.25⁴⁸ horas (prioritarios y no prioritarios). Ahora bien, si el tiempo promedio para elaborar un spools promedio es de 40 horas, entonces se podrían fabricar 13.71 spools adicionales al eliminar por completo todos los defectos. Asumiendo la reducción del 55% de los defectos, se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 57. Producción adicional lograda por la reducción de todos los defectos

PRODUCCION ADICIONAL

Reducción de Defectos 55%
 Tiempo elaboración (hr) / Und 40
 Valor promedio de un spool \$ 15 000

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Incremento en demanda (%)		12%	18%
Tiempo total por defectos (hr)	548.52	614.3386667	629.6971333
Und. Adicionales totales	13.71	15.36	15.74
Ahorro de tiempo real (hr)	301.68	337.89	346.33
Und. Adicionales posibles	7.54	8.45	8.66
Valor total en defectos (\$)	\$1,819,945.03	\$2,079,105.21	\$2,514,677.75
Ahorro en defectos (\$)	\$1,000,969.77	\$1,143,507.86	\$1,383,072.76

A partir de este resultado obtenido se determina los requerimientos de material extra para cubrir los spools adicionales a producir (Ver Tabla 58. Materiales requeridos para suplir la producción adicional por reducción de todos los defectos detectados):

Tabla 58. Materiales requeridos para suplir la producción adicional por reducción de todos los defectos detectados

	2011	2012	2013
Inflación		2.0%	3%
Und. Adicionales a Producir	13.71	15.36	15.74
Ventas adicionales promedio	\$205,693.75	\$230,377.00	\$236,136.43
Materiales requeridos (\$/spool)	\$12,000.00	\$12,240.00	\$12,546.00

Luego de haber determinado las inversiones necesarias, se procede a realizar el plan de inversión de la propuesta para los dos periodos de análisis.

Tabla 59. Plan de inversiones reduciendo de todos los defectos un 55%

	2011	2012	2013
Activos			
Capacitación inicial	\$167,500.00		

⁴⁸ El número de horas totales se obtuvo sumando las horas anuales contempladas para defectos no prioritarios (Ver anexo 13) y prioritarios (Ver Tabla 13)

Tarjetas Kanban	\$5,000.00	\$4,000.00	\$3,000.00
Implementos de Organización	\$500,000.00	\$600,000.00	\$600,000.00
TOTAL ACTIVOS	\$672,500.00	\$604,000.00	\$603,000.00
Capital de Trabajo			
Materiales requeridos	\$92,315.36	\$105,978.03	
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	\$92,315.36	\$105,978.03	
TOTAL INVERSIONES	\$764,815.36	\$709,978.03	\$603,000.00

7.4.2. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto teniendo en cuenta todos los defectos

A continuación en la Tabla 60. se muestra el flujo de fondos de la propuesta en la que se incluyen la totalidad de los defectos detectados:

Tabla 60. Flujo de fondos del proyecto (teniendo en cuenta todos los defectos)

INFORMACION GENERAL

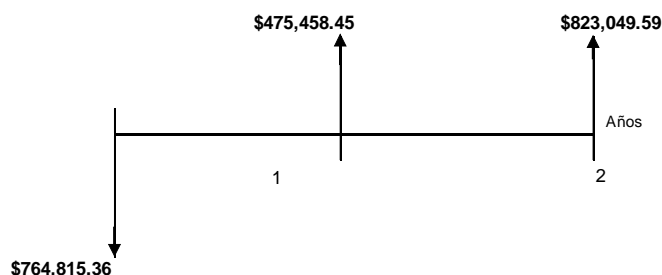
	2011	2012	2013
Inflación		2.5%	3%
Impuestos	30%	30%	30%
Costo ventas (% sobre ventas)	60%	60%	60%
Gastos operacionales (% sobre ventas)	35%	35%	35%

FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO

	2011	2012	2013
Ventas		\$230,377.00	\$236,136.43
- Costo de venta		-\$138,226.20	-\$141,681.86
Utilidad Bruta		\$92,150.80	\$94,454.57
- Gastos operacionales		-\$32,252.78	-\$33,059.10
Utilidad operacional		\$59,898.02	\$61,395.47
- Intereses		-	-
Utilidad antes de impuestos		\$59,898.02	\$61,395.47
- Provisión impuestos (30%)		-\$17,969.41	-\$18,418.64
Utilidad neta		\$41,928.61	\$42,976.83
+ Ahorro en reducción de defectos		\$1,143,507.86	\$1,383,072.76
- Inversión en capacitación	-\$167,500.00	\$0.00	\$0.00
- Inversión en tarjetas kanban	-\$5,000.00	-\$4,000.00	-\$3,000.00
- Inversión en implementos para organizar	-\$500,000.00	-\$600,000.00	-\$600,000.00
- Inversión en Capital de Trabajo	-\$92,315.36	-\$105,978.03	
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	-\$764,815.36	\$475,458.45	\$823,049.59

7.4.3. Resultados de la evaluación de la propuesta mediante diferentes técnicas de análisis teniendo en cuenta la reducción de todos los defectos

Figura 22. Diagrama de flujo de fondos (tienen en cuenta todos los defectos)



A través de la información obtenida anteriormente, se evalúa la propuesta con diferentes técnicas de análisis obteniéndose la Tabla 61. Resultado de técnicas financieras teniendo en cuenta todos los defectos detectados:

Tabla 61. Resultado de técnicas financieras teniendo en cuenta todos los defectos detectados

INDICADORES FINANCIEROS

TREMA (Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva)	14%
TIR (Tasa Interna de Retorno)	39%
VPN (Valor Presente Neto)	\$285,563.39
VPN Ingresos	\$1,050,378.75
VPN Egresos	\$764,815.36
B/C (Relación Beneficio Costo)	1.37

Estos resultados permiten obtener las siguientes conclusiones:

- Teniendo en cuenta el TIR, se supera las expectativas de rentabilidad del 14% efectivo anual ofreciendo un retorno a la inversión de 39% anual.
- El Valor Presente Neto (VPN) obtenido indica que la inversión podría llegar a aumentar \$ 285 563,39 y el proyecto seguirá siendo factible.
- El beneficio del proyecto supera el costo del mismo 1,37 veces.

Por otro lado, si se realiza un análisis de sensibilidad al porcentaje de defectos que deben reducirse para que el proyecto siga siendo factible para la empresa, se obtiene que los defectos se deban reducir como máximo a un 46,7%. En la Tabla 62. Se muestra el flujo de fondos recalculado según análisis de sensibilidad del porcentaje de defectos totales reducidos 46.7%.

Tabla 62. Flujo de fondos recalculado según análisis de sensibilidad del porcentaje de defectos totales reducidos 46.7%

INFORMACION GENERAL

	2011	2012	2013
Inflación		2.5%	3%

Impuestos	30%	30%	30%
Costo ventas (% sobre ventas)	60%	60%	60%
Gastos operacionales (% sobre ventas)	35%	35%	35%

FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO

	2011	2012	2013
Ventas		\$230,377.00	\$236,136.43
- Costo de venta		-\$138,226.20	-\$141,681.86
Utilidad Bruta		\$92,150.80	\$94,454.57
- Gastos operacionales		-\$32,252.78	-\$33,059.10
Utilidad operacional		\$59,898.02	\$61,395.47
- Intereses		-	-
Utilidad antes de impuestos		\$59,898.02	\$61,395.47
- Provisión impuestos (30%)		-\$17,969.41	-\$18,418.64
Utilidad neta		\$41,928.61	\$42,976.83
+ Ahorro en reducción de defectos		\$970,942.13	\$1,174,354.51
- Inversión en capacitación	-\$167,500.00	\$0.00	\$0.00
- Inversión en tarjetas kanban	-\$5,000.00	-\$4,000.00	-\$3,000.00
- Inversión en implementos para organizar	-\$500,000.00	-\$600,000.00	-\$600,000.00
- Inversión en Capital de Trabajo	-\$78,384.13	-\$89,984.98	
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	-\$750,884.13	\$318,885.77	\$614,331.34

Finalmente, se efectúa de nuevo el análisis financiero de este escenario (Ver tabla 63. Resultado de técnicas financieras ajustando la reducción de defectos totales a un 46,7 %), con el fin de entender los diferentes indicadores bajo este nuevo supuesto.

Tabla 63. Resultado de técnicas financieras ajustando la reducción de defectos totales a un 46,7 %

INDICADORES FINANCIEROS

TREMA (Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva)	14%
TIR (Tasa Interna de Retorno)	14%
VPN (Valor Presente Neto)	\$1,548.24
VPN Ingresos	\$752,432.37
VPN Egresos	\$750,884.13
B/C (Relación Beneficio Costo)	1.00

Después de haber visto los diferentes escenarios propuestos, se puede decir que los resultados mostrados son favorables para la empresa metalmecánica. Sin embargo, es bueno aclarar que en los escenarios donde se tratan la totalidad de los defectos se presentan mayores retribuciones para la compañía; de allí que se sugiera realizar el proceso de implementación de las herramientas de forma integrada, teniendo en cuenta que la aplicación de una herramienta no solo permite reducir un defecto, sino que busca brindarle mayor confort a los procesos de fabricación de spools, haciendo efectiva la labor de los trabajadores inmersos en el proceso.

8. CONCLUSIONES

1. Considerando de que un modelo viene a ser una reproducción a escala de alguna realidad, el desarrollo del presente trabajo hace posible la obtención de un modelo estructurado con pasos a seguir para una implementación exitosa de las herramientas de manufactura esbelta. Pero este modelo no solo podrá ser utilizado para la línea de fabricación de spools, sino también para otros productos que la empresa considere importante.
2. Si bien es cierto, los defectos fueron detectados en puestos de trabajo puntuales. Pero, es necesario aclarar la importancia de analizar y comprender el funcionamiento del proceso en forma integral. Esto con el fin de entender que los defectos son el resultado de un conjunto de situaciones que se presentan a lo largo del proceso de producción y no como un factor aislado y/o particular de algunos de los puestos de trabajo.
3. Todos los defectos detectados en el proceso de fabricación de spools deben poder ser valorados y evaluados cuantitativamente a través de los criterios que expresen los aspectos importantes que la empresa considere importantes para la toma de decisiones.
4. Luego de realizar la priorización de los defectos y aplicar la matriz para detectar los puntos críticos, se logró determinar que los procesos críticos: habilitado, calderería y soldadura, los cuales tienen una participación del 27.18%, 23.44% y 28.13% del total de defectos detectados respectivamente.
5. De los doce defectos definidos como prioritarios, aproximadamente 42% de estos están relacionados con el proceso de calderería o armado, y en un 34% lo están con el proceso de corte o habilitado. Con lo dicho anteriormente, se infiere que los defectos a solucionar en primera instancia, pertenecen a los puntos críticos determinados en el proceso de producción de spools.
6. Como se mencionó en el marco teórico, las herramientas de manufactura esbelta permiten lograr una reducción en la frecuencia de los defectos detectados en el proceso de fabricación de spools, entonces, la aplicación de cada una de las herramientas posibilita en varios casos la reducción de más de uno de los defectos detectados.
7. De las seis herramientas de manufactura esbelta utilizados en el presente trabajo, se evidenció que con la aplicación de dos de estas: 5'S y Kanban, se impacta en el 62.09% de defectos totales detectados.

8. Con el desarrollo de las etapas del modelo, se encontró que para la aplicación de las herramientas kanban y 5'S, se requiere esencialmente capacitación y una inversión en las tarjetas kanban; con lo cual se puede inferir que únicamente con la capacitación en dichas herramientas se estaría logrando un impacto alto de 62.07%, un impacto medio de 44.83% y un impacto leve de 20.69% en los 29 defectos detectados.
9. El método de implementación que se desarrolla para el proyecto spool debe permitir la comprensión clara de los pasos a seguir y llegar al grado de detalle que permita comprender la propuesta que se pretende seguir.
10. El compromiso de la alta gerencia de la empresa metalmecánica resulta fundamental en el desempeño efectivo de la implementación de la propuesta. Junto con esto la capacitación del equipo de trabajo, el entrenamiento y compromiso personal del personal del proyecto spool son factores decisivos en el proceso de desarrollo del pensamiento esbelto en el área de producción de spools en la empresa.
11. El análisis financiero de la propuesta realizada a través de diferentes técnicas tales como: VPN, TIR y B/C, evidencia la factibilidad de la propuesta y permite determinar que las propuestas analizadas resultan atractivas para la empresa como inversionista.
12. Los desarrollos realizados por medio del presente trabajo son un aporte para el mejoramiento de los procesos productivos en general de la empresa metalmecánica que permiten apoyar los alcances realizados con el proceso de implementación de ISO9001, por lo que se considera responsabilidad de la empresa permitir que dichos avances se conviertan en realidad y puedan repercutir en el cumplimiento de metas y objetivos trazados.

9. RECOMENDACIONES

1. Para el inicio del proceso de implementación de herramientas de manufactura esbelta debe de quedar claro para todas las personas que pertenecen a la empresa metalmecánica que este es un proceso de mejoramiento continuo que requiere atención constante; por tanto se considera necesario en cada etapa del proceso definir un responsable claro de las tareas asignadas y desarrollar mecanismos de evaluación y retroalimentación de los avances realizados.
2. Se debe realizar una revisión periódica a las valoraciones y cálculos realizados en el proyecto y en lo posible, ajustarse con los cambios y modificaciones que se presenten en la realidad, de tal forma que el modelo pueda ser desarrollado en diferentes escenarios reales. En otras palabras, la metodología construida en el presente trabajo, son herramientas que deben ser reconsideradas a medida que se generan cambios en el proceso de producción y a medida que se van solucionando los defectos relacionados con la aplicación de las herramientas. Para que así se tenga un proceso dinámico en el que se pueda realizar de forma permanente el seguimiento y actualización de las herramientas.
3. Para conseguir buenos resultados en la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta se debe poner énfasis en los avances realizados por los equipos de trabajo que se conformen. Por ello, se recomienda la posibilidad de desarrollar un programa desde el área de recursos humanos que fomente la participación de los trabajadores y ante todo le permita a cada uno de los equipos de trabajo presentar sus resultados a los demás miembros involucrados en el proceso.
4. Para la ejecución de la primera etapa de capacitación en cada herramienta de manufactura esbelta, resulta fundamental que la persona encargada de realizarla conozca las etapas que se mencionan en el modelo y siga los lineamientos documentados que contiene este, pues de la capacitación parte la motivación del personal para llevar a cabo los cambios en el proceso de producción.
5. Luego de realizado las capacitaciones iniciales en cada herramienta, se debe incitar la instauración de una cultura de retroalimentación en los grupos de trabajo, para que así los integrantes de los grupos propicien el avance y las mejoras del sistema de fabricación de spools.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fuentes impresas

- 1) HIROYUKI, hirano. Manual de implantación del Just In Time. JIT Management laboratory company, Ltd. Tokyo, Japón. Productivity press.1991
- 2) NARCISO PALOMER, Toledo. Aplicación del procedimiento Lean Manufacturing en una empresa. Universidad de Zaragoza área de Ingeniería de procesos de fabricación.
- 3) MEYERS, Fred E. Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales.
- 4) HAY J.Edwars. Justo a Tiempo. (Just in Time) : La técnica Japonesa que genera mayor ventaja competitiva. Barcelona, Bogota: Norma, 1992.
- 5) Maggard, BN. El TPM que funciona. La teoría y el diseño del Mantenimiento Productivo Total. Una guía para implementar el TPM, 1999
- 6) Mike Rother & Jhon Shook. Observar para crear valor. Cartografía de la cadena de valor para agregar valor y eliminar “muda”. The lean Enterprise Institute, 1999
- 7) WOMACK, James P. y JONES, Daniel T. Lean Thinking: Banish waste and create health in your corporation. 1996
- 8) Niebel B. y Freivalds A. Sistema de producción Toyota. Ingeniería industrial métodos estándares y diseño del trabajo. México, Alfaomega. 2004.
- 9) NIEBEL, Benjamín. Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo. Décima edición, 2001
- 10) Gutiérrez Garza, Gustavo. Justo a Tiempo y Calidad Total, Principios y Aplicaciones. Quinta edición. Ediciones Castillo S. A. de C. V., Monterrey, Nuevo León, México, 2000
- 11) Pascal, Dennis. Lean Production Simplified, A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System. 2002

12) Kanban for the Shop Floor: The Productivity Press Development Team (Shopfloor Series)

13) Niño Navarrete, Ángela. (2004). Aplicación de las herramientas de manufactura esbelta desde el desarrollo y mejoramiento de la calidad en el sistema de producción de americana de colchones. (Tesis de grado en la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia).

Fuentes electrónicas

1) Portal del sector metalmecánico. Latinoamérica.

Disponible en: <http://www.metalmecanica.com>

[Consulta: 12 de marzo 2011]

2) Agencia Andina de Noticias. Noticias al día: metalmecánica.

Disponible en: <http://www.andina.com.pe>

[Consulta: 15 de marzo 2011]

3) Sociedad Nacional de Industrial. La metalmecánica actual. Portal de la Sociedad Nacional de Industrias.

Disponible en: www.sni.org.pe

[Consulta: 14 de abril 2011]

4) PYMEX. Portal de la Consultora Maximixe.

Disponible en: www.maximixe.com

[Consulta: 20 de abril del 2011]

5) Portal de la empresa Fima S.A.

Disponible en: www.fimaperu.com

[Consulta: 20 de abril del 2011]

6) Exportaciones metalmecánicas en el Perú. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Disponible en: www.inei.gob.pe

[Consulta: 20 de febrero 2011]

7) Industria metalmecánica. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

Disponible en: www.ocde.org

[Consulta: 24 de abril de 2011]

8) Lean Manufacturing. Portal del Lean and 6 sigma.

Disponible en: www.lean-6sigma.com

[Consulta: 04 de mayo de 2011]

9) Olivella Jordi, Los beneficios de la empresa durante la implantación del lean.

Disponible en: http://www.institutolean.org/articulos/articulos_ilm_0803_olivella.pdf

[Consulta: 13 mayo 2011]



